

**Einflüsse aus Innen- und Außenluft für ausgewählte Innenraumfaktoren
aus dem ProKlimA-Projekt unter Berücksichtigung des
Belüftungsmodus**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Claudia Seidel, geb. Reißmann
geboren am 03. Dezember 1981 in Zwickau

02. März 2010

Gutachter

1. Gutachter: PD. Dr. Dr. Wolfgang Bischof, Jena
2. Gutachter: Prof. Dr. Gerhard Andreas Wiesmüller, Jena
3. Gutachter: Prof. Dr. Klaus Fiedler, Berlin

Tag der öffentlichen Verteidigung: 02.03.2010

für Günther Sandig

Abkürzungsverzeichnis

α	Signifikanzniveau
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogramm pro Kubikmeter
m^3/Person	Kubikmeter pro Person
/l	Pro Liter
%	Prozent
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BRC	Building-Related-Complaints
BRI	Building-Related-Illness
BRS	Building-Related-Symptoms
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Zirka
CFU/m^3	Colony Forming Unit pro Kubikmeter
CI	Konfidenzintervall
CO_2	Kohlendioxid
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
decipol	Einheit empfundene Luftqualität
d.h.	Das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
etc.	et cetera
h	Stunde
M	Median
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MVOC	Microbial Volatile Organic Compounds
MW	Mittelwert
MZP1	Messzeitpunkt 1
MZP2	Messzeitpunkt 2
MZP3	Messzeitpunkt 3
n	Gesamtzahl der Fälle
OR	Odds Ratio
PAH	Polyzyklische, Aromatische Kohlenwasserstoffe
p	Wahrscheinlichkeit
PAQ	Perceived Air Quality
Partikel ultrafein	Staubteilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser unter $0,1\ \mu\text{m}$
Partikel fein	Staubteilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser unter $2,5\ \mu\text{m}$
Partikel grob	Staubteilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von $2,5 - 10\ \mu\text{m}$
PM	Bezieht sich auf die totale Menge aller festen und flüssigen Partikel in der Luft
$\text{PM}_{0,1}$	Partikel mit aerodynamischen Durchmesser $\leq 0,1\ \mu\text{m}$
$\text{PM}_{2,5}$	Partikel mit aerodynamischen Durchmesser $\leq 2,5\ \mu\text{m}$; fine-mode fraction

PM _{2,5 - 10}	Partikel mit aerodynamischen Durchmesser > 2,5 µm und < 10,0 µm, coarse-mode fraction
PM ₁₀	Partikel mit aerodynamischen Durchmesser ≤ 10 µm
POM	Organic compounds associated with Particulate Matter or Particulate Organic Matter
ppm	Parts per million
RLT-Anlagen	Raumlufttechnische-Anlagen
SBS	Sick-Building-Syndrom
STD	Standardabweichung
SVOC	Semi Volatile Organic Compounds
Tb	Tabelle
TRGS	Technische Regeln für Gefahrenstoffe
TSP	Total Suspended Particles
TVOC	Total Volatile Organic Compounds
US-EPA	US-Environmental Protection Agency (US-Umweltschutzbehörde)
vgl.	Vergleiche
VOC	Volatile Organic Compounds
VVOC	Very Volatile Organic Compounds
W/m ²	Watt pro Quadratmeter
WHO	World Health Organization
z.B.	Zum Beispiel

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	I
	Tabellenverzeichnis	V
	Zusammenfassung	1
1.	Einleitung	3
2.	Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren	6
2.1.	Kohlendioxid	6
2.1.1.	Definition und gesundheitliche Aspekte	6
2.1.2.	Einflüsse auf die Kohlendioxidkonzentration im Innenraum	7
2.2.	Empfundene Luftqualität	8
2.2.1.	Definition und Bestimmung der empfundenen Luftqualität	8
2.2.2.	Einflüsse auf die empfundene Luftqualität im Innenraum	9
2.3.	Volatile Organic Compounds	11
2.3.1.	Definition und Einteilung	11
2.3.2.	Gesundheitliche Aspekte	11
2.3.3.	Grenzwerte	13
2.3.4.	Einflüsse auf die Volatile Organic Compounds im Innenraum	14
2.4.	Partikel	15
2.4.1.	Definition Schwebestaub und Feinstaub	15
2.4.2.	Einteilung der Partikel	16
2.4.3.	Lebenszeit der Partikel	18
2.4.4.	Gesundheitliche Aspekte	18
2.4.4.1.	Ablagerungsmuster von Partikeln in der Lunge und ihre Wirkung	18
2.4.4.2.	Gesundheitlichen Auswirkungen in Bezug auf PM ₁₀ , PM _{2,5} und PM _{0,1}	19
2.4.4.3.	Risikogruppen	20
2.4.5.	Grenzwerte	20
2.4.5.1.	Außenluft	20
2.4.5.2.	Innenraumluft	21
2.4.6.	Einflüsse auf die Partikelkonzentration im Innenraum	22
3.	ProKlimA-Projekt	25
3.1.	Zielstellung	25
3.2.	Studiendesign	25
3.3.	Methoden	26
3.3.1.	Gebäude- und raumluftechnische Anlagenbegutachtung	26
3.3.2.	Physikalische Messungen	27
3.3.3.	Chemische Messungen	28
3.3.4.	Biologische Messungen	29

3.3.5.	Empfundene Luftqualität	29
3.3.6.	Arbeitswissenschaftliche Untersuchungen	29
3.3.7.	Statistische Methoden	30
3.4.	Ergebnisse ProKlimA-Projekt	31
4.	Analyse ausgewählter Faktoren der ProKlimA-Studie	32
4.1.	Ziele der Arbeit	32
4.1.1.	Arbeitshypothesen	
4.2.	Methodik der Auswertung und statistische Verfahren	
4.2.1.	Deskriptive Statistik	
4.2.2.	Univariate und multiple logistische Regression	
5.	Ergebnisse	
5.1.	Kohlendioxid	
5.2.	Empfundene Luftqualität	
5.3.	Volatile Organic Compounds	
5.4.	Partikel > 0,5 µm, Partikel > 2,0 µm, Partikel > 10,0 µm	
5.4.1.	Partikel > 0,5 µm	
5.4.2.	Partikel > 2,0 µm	
5.4.3.	Partikel > 10,0 µm	
5.5.	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	64
6.	Diskussion	66
6.1.	Lüftungsmodus	66
6.2.	Außenpartikelkonzentrationen	69
6.3.	Aktivitäten der Nutzer und Raumvolumen pro Person	70
6.4.	Bildschirmarbeitszeit	72
6.5.	Emissionslasten im Innenraum	74
6.6.	Lufttemperatur und Luftfeuchte	75
6.7.	Reinigung	78
6.8.	Pflanzen	80
6.9.	Vliesfaktor und Regalfaktor	81
6.10.	Bürotypen	82
7.	Schlussfolgerung und praktische Empfehlungen	84
8.	Literatur und Quellenverzeichnis	86
9.	Anhang	102
	Lebenslauf	116
	Ehrenwörtliche Erklärung	117
	Danksagung	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterteilung flüchtiger organischer Substanzen.....	11
Tabelle 2: Konzentrations-Wirkungs-Beziehung für die Beeinträchtigung durch Exposition gegenüber VOC (Molhave 1991).....	13
Tabelle 3: Staubgrenzwerte.....	21
Tabelle 4: Skala zur Bewertung des Wartungszustandes einer RLT-Anlage....	27
Tabelle 5: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Haupteinflussgrößen und Zielvariablen CO ₂ , PAQ, TVOC, Partikel anhand der Literatur .	
Tabelle 6: Tabellarische Angabe der am 75. % Percentil getrennten Einfluss- größen für die „Gesamtheit der Büros“, „klimatisierte“ und „natür- lich belüftete“ Büroräume. Zudem sind die Cut-Points für die Variable Gebäudealter und der zusätzlich am 25. % Percentil ge- trennten Variable Raumvolumen angegeben.....	
Tabelle 7: Tabellarische Darstellung von veränderten ordinalen und kategoria- len Einflussgrößen	
Tabelle 8: Einflüsse auf eine CO ₂ -Belastung ≥ 760 ppm in Büroräumen im uni- und multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald- Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = ten- denziell (kursiv).....	
Tabelle 9: Einflüsse auf eine CO ₂ -Belastung ≥ 550 ppm in klimatisierten Bü- roräumen und ≥ 920 ppm in natürlich belüfteten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ =signi- fikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	
Tabelle 10: Einflüsse auf eine C_DPOL-Belastung ≥ 8 decipol in Büroräumen im uni- und multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald- Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	
Tabelle 11: Einflüsse auf eine C_DPOL-Belastung $\geq 4,9$ decipol in klimati- sierten Büroräumen und $\geq 7,1$ decipol in natürlich belüfteten Büro- räumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	
Tabelle 12: Einflüsse auf eine TVOC-Belastung $\geq 434,50$ µg/m ³ in Büroräu- men im uni- und multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %- Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	

Tabelle 13: Einflüsse auf eine TVOC-Belastung $\geq 356,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in klimatisierten Büroräumen und $\geq 559,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in natürlich belüfteten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	
Tabelle 14: Einflüsse auf eine TVOC-Belastung $\geq 356,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in klimatisierten Büroräumen unter Einschluss anlagenbezogener Variablen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	
Tabelle 15: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung $\geq 2433,25 /\text{l}$ ($\text{PM}_{0,5}$), $\geq 314,75 /\text{l}$ ($\text{PM}_{2,0}$) und $\geq 5,00 /\text{l}$ ($\text{PM}_{10,0}$) in Büroräumen im univariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	60
Tabelle 16: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung $\geq 2433,25 /\text{l}$ ($\text{PM}_{0,5}$), $\geq 314,75 /\text{l}$ ($\text{PM}_{2,0}$) und $\geq 5,00 /\text{l}$ ($\text{PM}_{10,0}$) in Büroräumen im multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	61
Tabelle 17: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung $\geq 1575 /\text{l}$ ($\text{PM}_{0,5}$), $\geq 221,75 /\text{l}$ ($\text{PM}_{2,0}$) und $\geq 4,00 /\text{l}$ ($\text{PM}_{10,0}$) in klimatisierten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	62
Tabelle 18: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung $\geq 2936,00 /\text{l}$ ($\text{PM}_{0,5}$), $\geq 400,75 /\text{l}$ ($\text{PM}_{2,0}$) und $\geq 6,00 /\text{l}$ ($\text{PM}_{10,0}$) in natürlich belüfteten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv).....	63
Tabelle 19: Deskriptive Darstellung der Variablen CO_2 (C_CO2K [ppm]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen.....	102
Tabelle 20: Deskriptive Darstellung der Variablen PAQ (C_DPOL [decipol]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen.....	104
Tabelle 21: Deskriptive Darstellung der Variablen TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen.....	107

Tabelle 22: Deskriptive Darstellung der Variable Partikel $> 0,5 \mu\text{m}$ (C_PAR005 [1/l]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen.....	109
Tabelle 23: Deskriptive Darstellung der Variable Partikel $> 2,0 \mu\text{m}$ (C_PAR020 [1/l]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen.....	111
Tabelle 24: Deskriptive Darstellung der Variable Partikel $> 10,0 \mu\text{m}$ (C_PAR100 [1/l]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen.....	113

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit stellt die Suche nach Einflussfaktoren auf die empfundene Luftqualität (PAQ) und auf die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO₂), flüchtigen organischen Substanzen (VOC) und Partikeln dreier Größenordnungen dar. Dabei soll zwischen den Belüftungsmodi natürlich belüftet und klimatisiert unterschieden werden. Durch mehrere Literaturrecherchen werden potentielle Einflussgrößen ermittelt und mit Hilfe des ProKlima-Datensatzes näher untersucht. Folgende Einflüsse werden überprüft: Außenkonzentrationen der jeweiligen Größe, Jahreszeit, Baujahr und Lage der Gebäude, Luftwechsel, Belüftungsmodus, Renovierungen, Emissionslasten (Rauchen, Pilze, Bakterien, Pflanzen, Partikel > 2,0 µm, Metabolismus), Bürotypen, Bildschirmarbeitszeit, Vliesfaktor, Regalfaktor, Reinigung, Luftfeuchte, Lufttemperatur und das Raumvolumen pro Person. Dabei weisen die untersuchten Variablen hinsichtlich der gemessenen Werte geringe bis moderate Belastungen auf. Nach einer deskriptiven Darstellung erfolgt die Berechnung multipler logistischer Regressionsmodelle, welche in Tabellen (Tb) für „die Gesamtheit“, „klimatisierte“ und „natürlich belüftete“ Büroräume wiedergegeben werden. Für die Zielgröße TVOC wird ein Modell unter Einschluss raumlufttechnischer Einflüsse, gerechnet. Der Zusammenhang zwischen den Variablen wird multivariat mit Odds Ratio (OR) und dem zugehörigen Konfidenzintervall (CI) dargestellt.

Übereinstimmend zu anderen Studien wird nachgewiesen, dass natürliche Belüftung die Chance für höhere Konzentrationen der untersuchten Zielgrößen und schlechte PAQ signifikant vergrößert. Lediglich bei Partikel > 10,0 µm kann eine signifikant protektive Wirkung durch natürliche Belüftung beobachtet werden (OR: 0,36; CI: 0,16 - 0,79). Des Weiteren zeigen sich schlecht gewartete RLT-Anlagen (OR: 28,36; CI: 5,22 - 154,01) und speziell Induktionsanlagen (OR: 5,44; CI: 1,10 - 26,98) als signifikante Faktoren für höhere TVOC-Konzentrationen. Ferner kann untermauert werden, dass der Einfluss der Außenpartikel auf ihre jeweilige Innenraumkonzentration in klimatisierten Gebäuden signifikant geringer ist als in natürlich belüfteten Gebäuden. Dabei besitzen in natürlich belüfteten Räumen Außenpartikel > 10,0 µm (OR: 21,20; CI: 3,88 - 116,05) den signifikant größten Einfluss auf ihre Innenpartikel. Rauchen korreliert in natürlich belüfteten Räumen signifikant mit höheren Konzentration der Partikel > 0,5 µm (OR: 7,21; CI: 3,48 - 14,95). Ein Metabolismus $\geq 89 \text{ W/m}^2$ (OR: 2,03; CI: 1,02 - 4,02) ist eine signifikante Quelle für höhere CO₂-Konzentrationen. Ferner sind Raumvolumina unter 31 m³/Person (OR: 6,04; CI: 2,19 - 16,70) mit höheren CO₂-Konzentrationen assoziiert. Klimatisierte 2

Zusammenfassung

bis 4-Mann-Büros sind, aufgrund ihrer kleinen Raumvolumina, mit signifikant höheren Partikelkonzentrationen $> 0,5 \mu\text{m}$ (OR: 2,37; CI: 1,12 - 4,98) und höheren CO_2 -Konzentrationen (OR: 2,68; CI: 1,35 - 5,34) verbunden. Im Raum steigt die Anzahl der Partikel $> 10 \mu\text{m}$ unabhängig vom Belüftungstyp signifikant mit verstärkter Bildschirmarbeitszeit. Zudem sind 4 bis 6 Stunden (h) Bildschirmarbeitszeit in klimatisierten Büros signifikant mit höheren CO_2 -Konzentrationen (OR: 7,61; CI: 3,26 - 17,79) und niedrigeren Konzentrationen der Partikel $> 0,5 \mu\text{m}$ (OR: 0,33; CI: 0,13 - 0,81) assoziiert. Es besteht unabhängig von der Belüftungsart ein tendenzieller aber konsistenter Zusammenhang zwischen höheren CO_2 -Konzentrationen und einer schlechten PAQ. Ferner sind höhere Partikelkonzentrationen $> 2,0 \mu\text{m}$ (OR: 2,39; CI: 1,24 - 4,63) in klimatisierten Räumen und höhere Schimmelpilzkonzentrationen (OR: 2,11; CI: 1,00 - 4,44) in natürlich belüfteten Räumen signifikant mit einer Verschlechterung der PAQ verbunden. Eine Reinigung aller zwei Tage wirkt im Vergleich zu täglichen Reinigungen in klimatisierten Räumen signifikant protektiv auf die PAQ (OR: 0,18; CI: 0,05 - 0,59). Entgegen der Literaturquellen sind Luftfeuchten unter 38 % mit einem signifikant höheren Risiko für eine Verschlechterung der PAQ verbunden (OR: 4,17; CI: 1,78 - 9,78). Pro 1°C Temperaturanstieg steigt das Risiko für höhere TVOC-Konzentrationen signifikant um 70 % an (OR: 1,70; CI: 1,09 - 2,66). Ein Vliesfaktor unter 37 % ist signifikant mit höheren Partikelkonzentrationen $> 0,5 \mu\text{m}$ und schlechter PAQ (OR: 4,82; CI: 1,90 - 12,22) in klimatisierten Räumen verbunden. Auf Partikel $> 10,0 \mu\text{m}$ wirken textile Oberflächen signifikant als Quelle. Pflanzen, der Regalfaktor, höhere Bakterienkonzentrationen und Boden-Decke-Systeme/Quelllüftung erweisen sich nicht als Einflüsse. Die Zusammenhänge zwischen der Luftfeuchte und den Partikeln sowie den Reinigungsintervallen beziehungsweise (bzw.) dem Vliesfaktor und den TVOC-Konzentrationen sind sehr inkonsistent und sollten weiter untersucht werden. Für die gefundenen Einflüsse Bildschirmarbeitszeit, Partikelkonzentration $> 2,0 \mu\text{m}$, Induktionsanlagen, Bürotyp, Reinigungsintervalle und Schimmelpilzsporen in der Raumluft existieren keine vergleichbaren Ergebnisse in der Literatur. Folglich sollten sich nachfolgende Studien unter Berücksichtigung der gewonnenen Ergebnisse anschließen.

Die Auswertungen zeigen deutlich, dass der Einsatz von Klimaanlage der natürlichen Belüftung vorgezogen werden sollte, da dadurch die Belastung der Raumluft mit den untersuchten Zielgrößen gering ist. Zudem soll beim Betrieb von Bürogebäuden auf gut gewartete Klimaanlage geachtet werden. Von Induktionsanlagen wird als Belüftungssystem abgeraten. Ferner ist es wichtig, dass sich der Luftwechsel und das Raumvolumen an die Nutzerdichte und Nutzeraktivitäten anpassen.

1. Einleitung

Seit Mitte der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts beschäftigte man sich verstärkt mit der Qualität der Innenraumluft. Auslöser war ein zunehmender Aufenthalt des Menschen in geschlossenen Räumen (WHO 1983, Esmen 1985, Letz 1990). Hinzu kam, dass infolge der Ölkrise im Jahre 1973 Energiesparmaßnahmen folgten, welche den Einsatz von isolierenden Außenverkleidungen und dichterem Fenstern nach sich zogen (Huber und Wanner 1982, Esmen 1985, Letz 1990, Pluschke 1996, Bardana 1997, Horvath 1997). Daraus resultierte ein verringerter Luftwechsel und damit eine Verschlechterung der Innenraumluft mit Anreicherung einer Vielzahl an Stoffen. Zudem traten vermehrt Befindlichkeitsstörungen auf, welche in der Literatur sehr bald durch den Terminus Sick-Building-Syndrom (SBS) umschrieben wurden (WHO 1989, Letz 1990). Weitere teilweise in der Literatur gebrauchte Synonyme sind das „tight building syndrome“, „building disease“, „building illness syndrome“, „stuffy office syndrome“ und „office illness“ (Seifert 1991).

Die WHO legte 1983 folgende Definition für das SBS vor:

„Ein mehr oder minder großer Personenkreis (mehr als 20 - 30 %) der Gebäudenutzer klagt über unspezifische Beschwerden und Befindlichkeitsstörungen, die typischerweise beim Aufenthalt in Innenräumen oder Gebäuden auftreten oder sich verschlimmern und sich nach Verlassen des Raumes bzw. des Gebäudes verbessern oder verschwinden“.

Dabei wird deutlich, dass die Benutzung des Begriffes immer dann geschehen sollte, wenn die Ursachen für im Innenraum auftretende Symptome nicht genau identifiziert werden können (WHO 1983).

In der Literatur wird zwischen einem temporären und einem permanenten SBS unterschieden. Das temporäre SBS findet man meist in neu konstruierten oder neu umgebauten Gebäuden vor, wo die Symptome mit der Zeit abnehmen und nach etwa einem halben Jahr verschwunden sind. Beim permanenten SBS persistieren die Symptome über Jahre und sind gegenüber extensiv verändernden Maßnahmen resistent. Meist ist auch kein offensichtlicher Grund für das Auftreten evident (WHO 1983).

Eine weitere Einordnung des SBS erfolgt in die so genannten gebäudebezogenen Gesund-

Einleitung

heitsstörungen. Zu diesen gehören auch die Building-Related-Illness (BRI) und die Building-Related-Complaints (BRC) bzw. Building-Related-Symptoms (BRS).

Für die BRI existiert eine Ätiologie. Es liegen klinisch klar definierte Krankheitsbilder wie allergische und immunologische Krankheiten, Infektionen, Schädigungen durch Chemikalien und andere Stoffe vor, die auch durch Laborergebnisse nachweisbar sind (Seifert 1991, Maroni und Levy 1992, Hovrath 1997). Hinzu kommt, dass eine Besserung der Symptome nach Verlassen des Gebäudes nachgewiesen ist (Petrovich 1996). Die BRC bzw. BRS sind hinsichtlich ihres Symptomenprofils ähnlich dem SBS, allerdings handelt es sich hierbei um subjektive Beschwerden eines Einzelnen (Maroni und Levy 1992).

Das SBS ist gekennzeichnet durch unspezifische Symptome wie:

- Reizungen von Augen, Nase und Hals
- trockene Haut- und Schleimhäute
- Erythem
- mentale Ermüdung
- Infektionen der Atemwege und Husten
- Heiserkeit, Atemnot
- Juckreiz und unspezifische Hypersensitivitäten
- Übelkeit, Schwindelgefühl.

Vier Gruppen von Risikofaktoren, die mit dem Auftreten eines SBS assoziiert werden, gibt es:

- Physikalische Faktoren (zum Beispiel (z.B.) Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Lüftungsrate, Beleuchtung, Schall)
- Chemische Faktoren (z.B. Tabakrauch, Schwebstaub, anorganische Gase, VOC)
- Biologisch Faktoren (z.B. Bakterien, Pilze, Endotoxine, Allergene)
- Personengebundene und psychosoziale Faktoren (z.B. weibliches Geschlecht, Allergien, Asthma, Arbeitsplatzzufriedenheit, psychischer Stress) (Seifert 1991, Henne et al. 1993).

Trotz allem ist die Ätiologie des SBS noch nicht vollständig geklärt. Zudem bleibt unklar, ob dem SBS eher ein Summationseffekt einer Vielzahl kleiner Einzellasten oder eher eine erhöhte Empfindlichkeit der Betroffenen zugrunde liegt (Petrovitch 1996).

Einleitung

Folgen der SBS Problematik sind verringerte Leistungsfähigkeiten und damit verbunden finanzielle Einbußen und erhöhter Krankenstand (Seifert 1990 b, Horvath 1997). Die Angestellten erleiden eine Schädigung ihrer Gesundheit, was sich negativ auf die Gesellschaft auswirkt, da diese die Kosten zu tragen hat (Seifert 1990 b). Die Kommission der europäischen Gemeinschaft schätzt, dass die durch Befindlichkeitsstörungen verursachten Kosten (durch Abwesenheit vom Arbeitsplatz) etwa 8-mal höher sind, als der durch Energieeinsparung erzielte Gewinn (Petrovitch 1996), und dass die durch alle Innenraumfaktoren verursachten Erkrankungen die Volkswirtschaft jährlich mit 100 Milliarden Mark belasten (Mersch-Sundermann 1996). Schätzungsweise 15 - 30 % der neuen oder renovierten Gebäude sind von Innenraumluftproblemen betroffen (WHO 1983, Woods 1989). Allein in Deutschland waren es im Jahr 1996 etwa 1 Million Menschen, die unter innenraumbezogenen Beschwerden leiden (Petrovitch 1996). Das SBS ist damit nicht nur ein raumluftechnisches oder medizinisches Problem, sondern stellt auch einen noch nicht ausreichend berücksichtigten Wirtschaftsfaktor dar (Petrovitch 1996).

In der Literatur wurde mehrfach über mögliche Zusammenhänge zwischen CO₂, der PAQ, VOC's und Partikeln bezüglich dem Auftreten von SBS-Symptomen diskutiert. Doch inwieweit werden diese Faktoren in ihrer Konzentration selbst beeinflusst? Dieser Frage wird in der vorliegenden Arbeit nachgegangen. Dazu erfolgt eine Literaturrecherche, welche im nachfolgenden Kapitel die Wirkung potentieller Innenraumquellen auf die Zielgrößen CO₂, PAQ, VOC und Partikel beschreibt. Zudem wird ein grober Einblick über die Variablen selbst und ihre gesundheitlichen Wirkungen gegeben.

2. Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

2.1. Kohlendioxid

2.1.1. Definition und gesundheitliche Aspekte

CO₂ ist ein farbloses, geruchloses Gas mit einem Sublimationspunkt bei - 78,9° C und ist mit einer Konzentration von 0,035 Vol% (= 350 ppm) ein natürlicher Bestandteil der Luft (Huber und Wanner 1981, Schwarzberg 1993, Pluschke 1996).

Bereits 1858 erkannte der Hygieniker Pettenkofer den Zusammenhang zwischen der Konzentrationshöhe von CO₂ im Innenraum und Gesundheitsstörungen. Er konnte nachweisen, dass die Maximalkonzentration von 1000 ppm (Pettenkofer Wert) als Maß für die Beurteilung der Luftqualität genutzt werden kann (Pettenkofer 1858). Das heißt (d.h.), ab Werten ≥ 1000 ppm wird die Raumluft aus hygienischer Sicht als unbefriedigend bezeichnet und ist damit ein Zeichen unzureichender Belüftung (Pluschke 1996). Der von Pettenkofer nicht toxikologisch belegte Wert wurde aufgrund einer sich verändernden Wohnraumhygiene und Belegungsdichte zu einem Wert ≥ 1500 ppm abgewandelt. Nach DIN 1946/2 ist in Bereichen von Aufenthaltsräumen ohne Freisetzung von Arbeitsstoffen der Umluftanteil so zu begrenzen, dass ein hygienischer Höchstwert von 1500 ppm (0,15 Vol%) nicht überschritten wird (DIN 1946/2 1994). Der MAK Wert, also die maximale Arbeitsplatzkonzentration, sollte bei maximal 5000 ppm (0,5 Vol%) bei einer täglichen Exposition von 8 h liegen (TRGS 900 2006, Pluschke 1996).

Im Körper zeigt sich nach Exposition mit hohen CO₂-Konzentrationen ein Anstieg des CO₂-Partialdruckes im Blut. Die Ursache dafür ist die Hydratisierung von CO₂ mit Wasser. Infolgedessen kommt es zu einem Anstieg von Wasserstoffionen (H⁺) und Hydrogencarbonationen (HCO₃⁻). Ist die Pufferkapazität des Blutes überschritten, resultiert eine respiratorische Azidose. Der Körper versucht das gestörte Säure-Basengleichgewicht durch renale Kompensation sowie durch eine Erhöhung der Atemfrequenz und damit verstärkter Abgabe von CO₂ auszugleichen (Pluschke 1996).

Im Konzentrationsbereich unterhalb 1 Vol% (10000 ppm) sind keine unmittelbaren physiologischen Wirkungen von CO₂ zu erwarten. Ab Konzentrationen von 1,5 Vol% (15000 ppm) wird das Atemwegssystem angegriffen, was sich in schneller und schwerer Atmung äußert. Erreichen die Konzentrationen Werte über 3 Vol% (30000 ppm) sind Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel, Ohrensausen, Doppeltsehen, Verlust der Augenmo-

torik und Gesichtsfeldausfälle die Folge. CO₂ über 5 Vol% (50000 ppm) gehen mit Tachykardie, Blutdruckanstieg und Atemnot einher (Pluschke 2006). Ab Konzentrationen über 10 Vol% (100000 ppm) kann Schwindel, Bewusstseinsverlust oder Tod einsetzen (Maroni et al. 1995, Pluschke 1996, Fromme et al. 2008). Bei chronischen Einwirkungen von etwa 1 Vol% (10000 ppm) beobachtet man in Tierexperimenten strukturelle Veränderungen der Lungen und Kalzifizierungen der Nieren. Beim Menschen hingegen werden Veränderungen im Atmungsapparat, im Blut pH-Wert, im CO₂-Partialdruck und im Gastrointestinaltrakt nachgewiesen (Maroni et al. 1995).

2.1.2. Einflüsse auf die Kohlendioxidkonzentration im Innenraum

Aktivitäten der Nutzer und Raumvolumen

Im Innenraum wird der Mensch selbst und seine verschiedenen Aktivitäten als bedeutendste CO₂-Quelle angesehen (Pettenkofer 1858, Wanner 1982, Pluschke 1996, Seppänen et al. 1999, Seppänen und Fisk 2004). Folglich korrelieren hohe Nutzerdichten und lange Aufenthalte mit hohen CO₂-Konzentrationen (Wanner 1982, Turiel et al. 1983, Seppänen und Fisk 2004, Heudorf et al. 2007, Fromme et al. 2008). Des Weiteren wird in der Literatur ein Zusammenhang zwischen dem Raumvolumen und CO₂ beschrieben. Unter der Voraussetzung der gleichen Personenanzahl und Luftwechselraten, steigt bei großen Raumvolumina im Vergleich zu kleinen Raumvolumina die CO₂-Konzentration langsamer an (Corsi et al. 2002, Fromme et al. 2008).

Luftwechsel und Lüftungsmodus

Ein hoher Luftwechsel trägt sowohl in natürlich belüfteten, als auch in klimatisierten Gebäuden zur Reduktion hoher CO₂-Konzentrationen bei (Turiel et al. 1983, Wargocki et al. 2000, Grams et al. 2003, Heudorf et al. 2007). Bei natürlicher Belüftung allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die CO₂-Belastung der Außenluft (wenig Verkehr) geringer ist als die der Innenraumluft (Hessischer Landtag 2005). Zudem sind in natürlich belüfteten Gebäuden die Belüftungsraten stark von den Lüftungsgewohnheiten der Raumnutzer abhängig. Folglich ist in schlecht gelüfteten Räumen der Luftwechsel reduziert, wodurch die CO₂-Konzentrationen ansteigen (Scheff et al. 2000, Pasanen et al. 2002, Grams et al. 2003, Seppänen und Fisk 2004). Demgegenüber arbeiten Klimaanlage unabhängig von der Außenluftqualität und den Lüftungsgewohnheiten der Nutzer (Pasanen et al. 2002). Zudem sind die Luftwechselraten meist höher als in natürlich belüfteten Gebäuden (Scheff et al. 2000). Folglich sind die CO₂-Konzentrationen in klimatisierten Räumen meist niedriger als

in natürlich belüfteten Räumen. Ferner kann beim Einsatz von Boden-Decke-Belüftungssystemen und Boden-Boden-Belüftungssystemen eine effiziente Entfernung von CO₂ aus unteren Höhen nachgewiesen werden (Chao und Wan 2004). Allerdings besitzen Klimaanlage nur dann einen Vorteil gegenüber der natürlichen Belüftung, wenn sie regelmäßig gewartet werden. Bei schlecht gewartete Klimaanlage wird eine Erhöhung der CO₂-Konzentrationen im Innenraum nachgewiesen (Turiel et al.1983 , Pasanen et al. 2002).

Technische Geräte

Die CO₂-Konzentrationen sind etwas niedriger, wenn PC in Büros vorhanden sind. Dieser Effekt erklärt sich dadurch, dass die Nutzer geringere metabolische Raten unter diesen Bedingungen im Vergleich zu Bedingungen mit PC Abwesenheit aufweisen (Bako- Biro et al. 2004).

2.2. Empfundene Luftqualität

2.2.1. Definition und Bestimmung der empfundenen Luftqualität

In den 80er Jahren beschrieb Fanger, dass neben dem Menschen, Einrichtungsgegenstände, Einrichtungsmaterialien und Klimaanlage Verunreinigungsquellen im Innenraum darstellen. Jede dieser Quellen stellte eine auf die Raumluft wirkende Verunreinigungslast dar. Deswegen entwickelte Fanger eine Methode, in der die menschliche Wahrnehmung für die Bewertung der Raumluftqualität verwendet wird. Ziel war es, neben der Luftqualität, die Verunreinigungslast in Räumen zu bestimmen. Als Maßstab diente dabei die Verunreinigungslast durch eine Person, die mit 1 olf definiert war. Ein olf ist also die Emissionsrate von Luftschadstoffen einer Standardperson. Jede andere Verunreinigungsquelle wird durch die Anzahl der standardisierten Personen quantifiziert, welche dieselbe Unzufriedenheit wie die aktuelle Verunreinigungsquelle hervorrufen. Als Maß für die Konzentration der Verunreinigung in der Raumluft wird die PAQ verwendet, deren Einheit dezipol ist. Definiert wird sie als die PAQ in einem Raum, bei der die Verunreinigungslast von einer Standardperson (1 olf) durch einen Luftvolumenstrom von 10 l/s verdünnt wird (Fanger 1988).

Bestimmt wird sie entweder durch:

- ein untrainiertes Panel von mehr als 50 Personen bis maximal 100 Personen oder
- einem trainierten Panel von mehr als 7 Personen.

Bei der Beurteilung der Raumluft ist es wichtig, dass die Bewertung sofort nach Betreten des Raumes erfolgt, um Adaptionen an Luftverunreinigungen auszuschließen (Fanger

1988, Bischof und Witthauer 1993). Ein besseres Beurteilungsvermögen der empfundenen Luftqualität wird im allgemeinen für Frauen, Nichtraucher und jüngere Personen angegeben (Reinikainen et al. 1997). Die Methodik des untrainierten Panels beruht dabei auf einer reinen „Ja - Nein - Abfrage“. Als unzufrieden gelten alle Probanden, die beim Betreten des Raumes mit der Luftqualität unzufrieden sind. Aus dem Verhältnis Anzahl der Unzufriedenen zu allen befragten Personen wird der Prozentsatz Unzufriedener im Kollektiv ermittelt. Dieser stellt dann ein Maß für die Qualität der Raumluft dar. Im Laufe der Zeit wurde die 2 Punkt Skala (Ja - Nein) durch eine internationale Skala (Abbildung 1) ersetzt, welche die Bereiche der Zufriedenheit und Unzufriedenheit in jeweils 10 (- 10 bis + 10) Stufen unterteilt. Mit dieser Methode wird damit die Akzeptanz der Luftqualität ermittelt (Fitzner 1998).

Nachteile dieser untrainierten Probanden ist der größere Zeitaufwand, die höheren finanziellen Ausgaben und eine Verschlechterung der Luftqualität durch die große Anzahl an Probanden selbst (Müller et al. 2004). Deswegen entwickelte Blyssen ein Verfahren, bei dem trainierte Probanden die PAQ durch Vergleich mit mehreren verschiedenen Azetonkonzentrationen direkt bestimmen. Dabei werden die Probanden durch ein Training in die Lage versetzt, die Empfindungsstärke eines Geruchsreizes an Hand des Vergleichsmaßstabes direkt in der Einheit Dezipol anzugeben. Wichtig ist dabei, dass beim Training in kleinen Gruppen von maximal vier Personen und mit sechs bis sieben unbekannten Azetonkonzentrationen für 30 Minuten pro Tag, drei Tage lang gearbeitet wird (Bluyssen 1990).

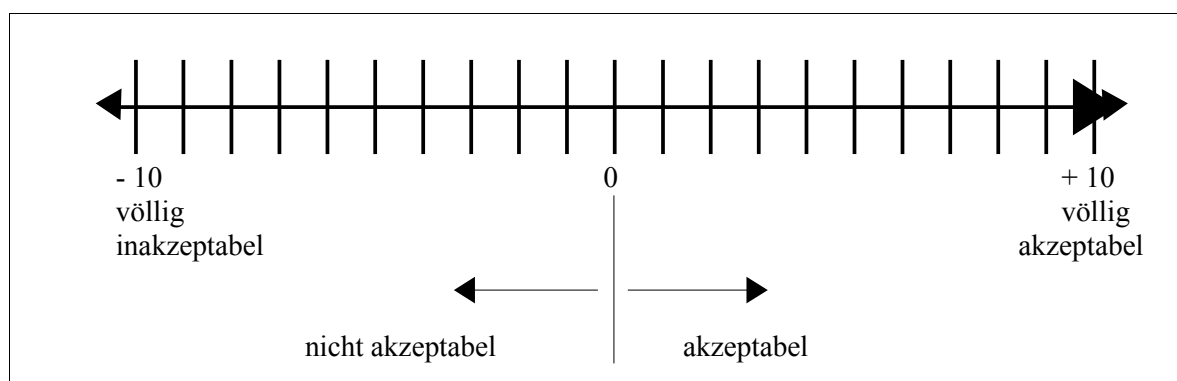


Abbildung 1: Internationale Skala (20 Punkt Skala) (Fitzner 1998)

2.2.2. Einflüsse auf die empfundene Luftqualität im Innenraum

Aktivitäten der Nutzer und Emissionslasten im Raum

Durch den Menschen werden Gerüche freigesetzt, die die PAQ verschlechtern (Fanger

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

1988, Wargocki 2004). Dabei steigt die Ausdünstung mit höherem Aktivitätsgrad (Rasmussen et al. 1985). Aber auch Zigarettenrauch, die in Gebäuden vorhandenen Materialien (Möblierung, Bausubstanz) und Renovierungsmaßnahmen bewirken eine Verschlechterung der PAQ (Fanger 1988, Fitzner und Finke 1996, Pejtersen et al. 1999, Wargocki 2004). Hierbei sind meist Bücher (Chen et al. 1990) und alte Polyamid-Teppiche (Chen et al. 1990, Wargocki und Fanger 1997) die größten Emittenten. Ferner liefern die durch Bakterien und Schimmelpilze produzierten flüchtigen organischen Substanzen (MVOC) (Pejtersen 1996 a, Breuer et al. 2006) und bestimmte VOC (Mølhave et al. 1986, Wolkoff et al. 1998) einen typischen Beitrag zur Verunreinigung der Innenraumluft.

Luftwechsel und Lüftungsmodus

Ein hoher Luftwechsel führt sowohl in natürlich belüfteten als auch in klimatisierten Räumen zu guter PAQ (Fanger et al. 1988, Bluysen et al. 1996b, Wargocki et al. 2000). Allerdings können gesteigerte Luftwechselraten auch Stoffemissionen aus verschiedenen Materialien und damit eine Verschlechterung der PAQ bewirken (Gunnarsen 1997, Sakr et al. 2003). Klimaanlage haben gegenüber der natürlichen Belüftung den Vorteil, dass sie eine gute PAQ durch konstante Innenraumbedingungen unterhalten (Wargocki et al. 2002). Allerdings ist dieser Vorteil nur bei regelmäßiger Wartung gegeben, d.h. schlecht gewartete Klimaanlage können die PAQ verschlechtern (Fanger 1988, Pejtersen et al. 1989, Seifert 1991, Bluysen et al. 1996b, Fitzner und Finke 1996, Fanger und Wargocki 2002). Die Ursache dafür sind kontaminierte Lüftungskanäle (Wargocki 2004), rotierende Wärmeüberträger (Pejtersen et al. 1989, Pejtersen et al. 1996b), verschmutzte Heiz- bzw. Kühleisenspulen (Fanger 1988), verschmutzte Partikelfilter (Pejtersen et al. 1989, Hujanen et al. 1991, Bluysen 1993, Pasanen et al. 1994, Pejtersen 1996a, Clausen 2004) und schlecht gewartete bzw. bakteriell kontaminierte Befeuchter (Pejtersen et al. 1989, Tyndall et al. 1995, Rainkainen et al. 1997).

Technische Geräte

Computer (Bako- Biro et al. 2002, Wargocki et al. 2003, Bako- Biro et al. 2004) und Fernseher (Wargocki et al. 2003) sind mit einer Verschlechterung der PAQ assoziiert.

Temperatur und Luftfeuchte

Die PAQ wird schlechter bewertet bei höheren Temperaturen ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) und Luftfeuchten ($> 40\text{ }\%$) (Fang et al. 1996, Toftum et al. 1998, Fang et al. 1998a+b, Fang et al. 2004).

2.3. Volatile Organic Compounds

2.3.1. Definition und Einteilung

Unter den VOC sind etwa 307 flüchtige organische Substanzen zusammengefasst (Maroni et al. 1995). Beispiele für die VOC sind Terpene, Terpenoide, Toluol und Pinen (Breuer et al. 2006). Laut der WHO sind sie definiert als „organische Schadstoffe mit Schmelzpunkten unterhalb der Raumtemperatur und Siedepunkten zwischen 50 - 100 °C, 240 - 260 °C und 380 - 400 °C“.

Nachfolgend ist in Tb 1 die von der WHO festgelegte Unterteilung der flüchtigen organischen Substanzen nach ihren Siedepunkten aufgeführt, wobei darauf hinzuweisen ist, dass keine scharfen Grenzen zwischen den Kategorien existieren (WHO 1989).

Tabelle 1: Unterteilung flüchtiger organischer Substanzen

Abkürzung	Beschreibung	Siedebereich
VVOC	Very Volatile Organic Compounds -Sehr/Leicht flüchtige organische Verbindungen mit 5 Kohlenstoffverbindungen	< 0 bis 50...100 °C
VOC	Volatile Organic Compound -flüchtige organische Verbindungen-	50...100 bis 240...260 °C
SVOC	Semi Volatile Organic Compound -schwer flüchtige organische Verbindungen-	240...260 bis 380...400 °C
POM	Organic compound associated with Particulate Matter or Particulate Organic Matter -schwer flüchtige organische Verbindungen, die vorwiegend an partikuläres Material gebunden sind-	> 380 °C

Der Begriff „Total Volatile Organic Compound“ (TVOC) wird in der Literatur zur Beschreibung der Gesamtheit individueller VOC gebraucht (WHO 1989), die mit Hilfe der Gaschromatographie separiert und quantifiziert werden (Seifert 1990b). Er stellt damit einen Indikator dar (Seifert 1999).

2.3.2. Gesundheitliche Aspekte

Obwohl die meisten TVOC in nicht gewerblich genutzten Räumen in Konzentrationen vorkommen, die keinerlei gesundheitliche Effekte auslösen, gibt es trotzdem Besorgnis über ihren Einfluss auf den Menschen (WHO 1989).

Abhängig von der Dosis können Innenraum-TVOC Symptome provozieren, die denen des SBS stark ähneln (Maroni et al. 1995). Die Wirkung niedrig konzentrierter flüchtiger organischer Verbindungen äußert sich in unspezifischen Symptomen wie:

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

- Irritationen von Auge, Nase, Rachen (Halsschmerzen)
- Nasenlaufen, Schnupfen und Augentränen
- trockene Schleimhäute, trockener Hals
- Juckreiz
- neurotoxische Symptome (Müdigkeit, Kopfschmerzen)
- erhöhte Infektanfälligkeit im Bereich der Atemwege (Husten)
- mangelhafte Geruch- und Geschmackswahrnehmung (Seifert 1990a).

Effekte durch niedrig konzentrierte flüchtige organische Substanzen sind allerdings reversibel und verschwinden nach der Exposition (Mølhav 1986, Mølhav 1991).

Mølhav stellte 1991 eine Konzentrations-Wirkungs-Beziehung der Innenraumbeeinträchtigung durch niedrig konzentrierte VOC auf (Tb 2). Eine Konzentration-Wirkungs-Beziehung ist das Verhältnis zwischen Exposition (Konzentration, Dauer) und dem Effekt und kann für Risikoabschätzungen und Regulationen verwendet werden. Dabei findet sich keine Reizung oder Beeinträchtigung durch TVOC bei Konzentrationen unter $0,2 \text{ mg/m}^3$. Ab Konzentrationen zwischen $0,2\text{-}3,0 \text{ mg/m}^3$ treten Irritationen oder Beeinträchtigungen des Wohlbefindens auf. Ab $3,0 \text{ mg/m}^3$ zeigen sich vegetative Symptome wie z.B. Kopfschmerzen und Geruchsbelästigungen. Ab 5 mg/m^3 werden neben den subjektiven Irritationen auch objektive Effekte wie Membranreizungen in Auge, Nase und Hals nachgewiesen. Konzentrationen $> 25 \text{ mg/m}^3$ resultieren in neurotoxischen Wirkungen wie Kopfschmerzen und Benommenheit (Mølhav 1986, Mølhav 1991).

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

Tabelle 2: Konzentrations-Wirkungs-Beziehung für die Beeinträchtigung durch Exposition gegenüber VOC (Molhave 1991)

TVOC-Konzentration (mg/m ³)	Wirkung	Expositionsumfang
< 0,20	Keine Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens	Behaglichkeitsbereich
0,20 - 3,0	Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens möglich, wenn Wechselwirkungen mit anderen Expositionsparametern gegeben ist	Die Reihe der multifaktoriellen Expositionen
3,0 - 25	Exposition führt zu einer Wirkung, Kopfschmerzen möglich, wenn Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern gegeben ist	Unbehaglichkeitsbereich
> 25	Kopfschmerzen. Weitere neurotoxische Wirkungen außer Kopfschmerzen möglich	Toxische Expositionsreich

VOC können in hohen Konzentrationen:

- hämatotoxisch
- neurotoxische
- akut leber- und nierentoxisch
- irritierend auf die Schleimhaut mit sensorischen Irritationen wirken.

Zudem wurde bei einigen VOCs eine Wirkung als tierische und menschliche Karzinogene bzw. Mutogene nachgewiesen (WHO 1989, Maroni et al. 1995).

2.3.3. Grenzwerte

Speziell für während der Messungen unbenutzte und nicht gewerblich genutzte Gebäude wurde von Seifert ein TVOC-Richtwert von 300 µg/m³ (0,3 mg/m³) für die Innenraumluft vorgeschlagen. Dieser Wert ist allerdings nicht auf toxikologische Erkenntnisse begründet. Seine wesentliche Bedeutung liegt darin, dass durch ihn die durchschnittliche TVOC-Konzentration definiert wird, deren Überschreitung einen Hinweis auf das Vorhandensein zusätzlicher Quellen im Innenraum gibt (Seifert 1990b).

Bei einem längerfristigen Aufenthalt im Innenraum sollte ein TVOC-Wert von 1 - 3 mg/m³ nicht überschritten werden, angestrebt werden sollte eine TVOC-Konzentration von 0,2 - 0,3 mg/m³. Der letztgenannte Bereich kann als hygienischer Vorsorgebereich verstanden werden (Petrovich 1996, Seifert 1999).

Nach dem Ausschuss für Innenraumlufthygiene ist ein Aufenthalt in Räumen mit TVOC-Konzentrationen zwischen 10 - 25 mg/m³ allenfalls vorübergehend täglich zumutbar. Sol-

che Werte können nach Baumaßnahmen oder in Verbindung mit Renovierungen auftreten (Seifert 1999).

2.3.4. Einflüsse auf die Volatile Organic Compounds im Innenraum

Aktivitäten der Nutzer und Emissionslasten im Raum

Raumnutzer bzw. ihre Aktivitäten (Kosmetika, Zigarettenrauch, Kochen, Reinigung) setzen VOC frei (Globes et al. 1992, Brockmeyer und Kempinski 1992, Wolkoff et al. 1995, Pluschke 1996, Wolkoff et al. 1998, Shaughnessy et al. 1999, Carrer et al. 2002). Folglich variieren TVOC-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Belegungsdichte und den Nutzeraktivitäten (Crump und Madany 1993, Ekberg 1994). Aber auch Baumaterialien (Chen et al. 1990, Brockmeyer und Kempinski 1992, Pluschke 1996, Brown 1999b, Diel und Fischer 2000), Einrichtungsgegenstände (Chen et al. 1990), Reinigungsmittel (Pluschke 1996, Carrer et al. 2002), Teppiche bzw. Teppichkleber (Chen et al. 1990, Weschler et al. 1992, Wargocki und Fanger 1997, Diel und Fischer 2000) und PVC Oberflächen (Järnström et al. 2008) emittieren verschiedene VOC. Besonders nach Renovierung und in neu gebauten Häusern werden deshalb hohe VOC-Belastungen der Innenraumluft nachgewiesen (Berglund et al. 1988, Rothweiler et al. 1992, Seppänen et al. 1999).

Ozonkonzentrationen über 0,05 - 0,1 ppm bewirken einen Konzentrationsabfall von TVOC aus Teppichen (Weschler et al. 1992, Weschler 2000).

Luftwechsel und Lüftungsmodus

Der Luftwechsel beeinflusst die VOC-Konzentration im Innenraum verschiedenartig. Zum einen steigen mit zunehmenden Belüftungsraten die VOC-Emissionen aus festen Gebäudematerialien (Gunnarsen 1997, Lee et al. 2000). Zum anderen bewirken hohe Belüftungsraten in natürlich belüfteten oder klimatisierten Räumen ein Absinken hoher TVOC-Konzentrationen (Turiel et al. 1983, Girman 1989, Shields und Weschler 1992, Wolkoff et al. 1997, Shaughnessy et al. 1999, Weschler 2000). Dabei ist die Voraussetzung in natürlich belüfteten Räumen, dass eine geringere VOC-Belastung der Außenluft (niedrige Verkehrsdichten, keine Industrie) im Vergleich zur Innenraumluft vorliegt, da flüchtige organische Substanzen aus der Außenluft in den Innenraum gelangen können (Ekberg 1994, Pluschke 1996, Wallace 1996b, Illgen et al. 2001, Wargocki 2004). Durch den Einbau von Klimaanlage bzw. Aktivkohlefilter kann der Einfluss der Außenluftqualität abgeschwächt werden (Girman 1989, Weschler et al. 1993). Zudem stellt der Einsatz von Quellsystemen ein effektives Mittel zur Reduktion hoher TVOC-Konzentrationen

dar (Yang und Chen 2001, He et al. 2005). Allerdings können Klimaanlage selbst als VOC Quellen fungieren, da aus Materialien in Klimaanlage (z.B. Neoprenedichtungen, Lüftungskanaldichtungsfugen) verschiedene VOC emittiert werden können (Morrison et al. 1998, Wargocki 2004).

Technische Geräte

Drucker, insbesondere Laserdrucker, Faxgeräte und Kopierer sind die wichtigsten VOC-Emittenten im Innenraum (Wolkoff et al. 1993, Pluschke 1996, Northeim et al. 1998, Brown 1999a, Black und Worthan 1999, Lam und Lee 2000, Carrer et al. 2002, Destailats et al. 2008). Aber auch Computer emittieren eine Reihe an VOC aus verbliebenen Lösungsmittel oder erwärmten Plastikgehäusen (Black und Worthan 1999). Allerdings sind diese Emissionen gering (Destailats et al. 2008).

Luftfeuchte und Temperatur

Sowohl die Luftfeuchte als auch die Temperatur beeinflussen die VOC-Konzentration in Abhängigkeit vom Bau- bzw. Renovierungsmaterial und dem VOC-Typ. Dabei steigt die VOC-Emission mit zunehmender Temperatur bzw. Luftfeuchte (Girman 1989, Bluysen et al. 1996a, Sollinger et al. 1994, Wolkoff 1996).

2.4. Partikel

2.4.1. Definition Schwebstaub und Feinstaub

Als Schwebestäube (Gesamtstaub, TSP (total suspended particles)) bezeichnet man eine Suspension von festen oder flüssigen Schwebstoffen, die in Gasen suspendiert sind und nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Schwebestaub setzt sich aus den Bestandteilen Russ, Rauch und Staub zusammen (Dockery und Pope 1994). Je nach Notwendigkeit wird der Schwebestaub nach der Partikelgröße oder nach der Staubart unterteilt (Abbildung 2). Danach ist der Feinstaub ein Teil des Schwebestaubs (Abbildung 2). Die Definition des Feinstaubes geht auf den im Jahr 1987 eingeführten National Air Quality Standard for Particulate Matter der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde Environmental Protection Agency (US-EPA) zurück (US-EPA 1987). Seitdem wird Feinstaub in der Wissenschaft international als particulate matter (PM) bezeichnet (Dockery und Pope 1994).

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

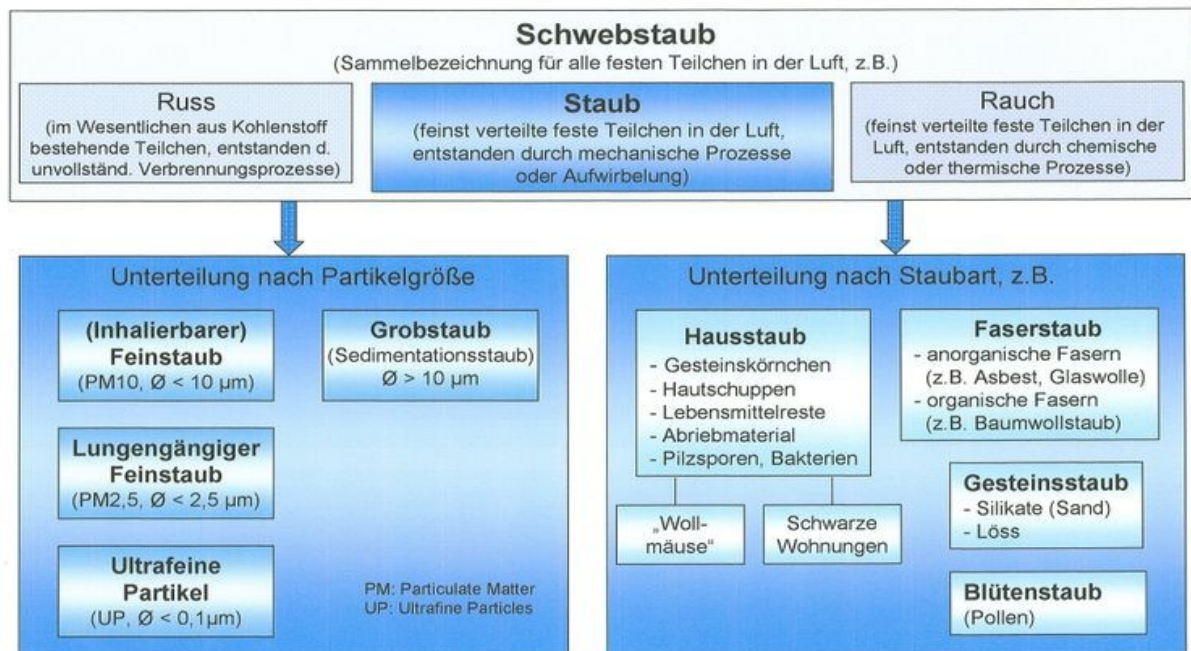


Abbildung 2: Einteilung von Schwebestaub (Quelle : Wikipedia)

2.4.2. Einteilung der Partikel

Die Aerosol Community gebraucht folgende verschiedene Konventionen für die Einteilung von Partikel (US-EPA 2002, WHO 2003):

Nach dem geologischen Ursprung bzw. der Größenverteilung

- **Primär:** Partikelmaterial liegt in demselben chemischen Zustand vor, wie es in die Atmosphäre emittiert wurde .
- **Sekundär:** Partikel werden durch eine dazwischen liegende Reaktion aus in der Atmosphäre vorhandenen Gasen z.B. SO₂, NO_x oder NH₃ gebildet (Gas- Partikelkonversion).
- Beide Partikelarten (primär, sekundär) können dabei entweder natürlichen (Vulkane, Verwitterung, Pollen) oder anthropogenen (Verkehr, Industrie) Ursprungs sein (US-EPA 2002, WHO 2003, Hessischer Landtag 2005).
- „Coarse-mode fraction“ (2 - 20 µm):
Entsteht mechanisch durch Aufbrechen großer, fester Partikel natürlichen Ursprungs oder aus unvollständigen Verbrennungsprozessen.

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

- „Fine-mode fraction“ ($< 2 \mu\text{m}$):
Hat ihren Ursprung aus Gasen (Gas-Partikel Konversion) und Verbrennungsprozessen (Dockery und Pope 1994, Litvak et al.2000).

Nach dem Ablagerungsverhalten in der Lunge (Abbildung 2)

- thorakal: Inhalierbare Feinstaubpartikel PM_{10} mit einem Durchmesser kleiner $10 \mu\text{m}$
- alveolär: Lungengängige Feinstaubpartikel $\text{PM}_{2,5}$ mit einem Durchmesser kleiner $2,5 \mu\text{m}$
Ultrafeinen Partikel $\text{PM}_{0,1}$ mit einem Durchmesser kleiner $0,1 \mu\text{m}$ (Hessischer Landtag 2005).

Nach der Trennstelle im Partikelgemisch

- PM_{10} (Amtliche Definition aus EU-Richtlinien): „Bei thorakalen Feinstaub (PM_{10}) handelt es sich um Partikel, die einen in Iso 7708 definierten selektierten Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $10 \mu\text{m}$ einen Abscheidegrad von 50 v. H. aufweist (amtliche Begriffbestimmung „ PM_{10} “: Richtlinie 1999/30/EG)“. Das bedeutet, dass PM_{10} aus Feinstaub besteht, in dem 50 % der Partikel einen aerodynamischen Durchmesser kleiner $10 \mu\text{m}$ besitzen (WHO 2000).

Nach legalen, spezifischen, regulatorischen Größen für Qualitätsstandards

- aerodynamischen Durchmesser. „Der aerodynamische Durchmesser ist eine fiktive Größe und entspricht dem Durchmesser, den ein kugelförmiges Teilchen der Dichte von 1g/cm^3 haben müsste, damit es die gleiche Sinkgeschwindigkeit in Luft aufweisen würde wie das betrachtete Teilchen“ (WHO 2003, Wichmann 2003, Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2006). Folgende Einteilungen werden gebraucht:
 - Grobstaub: $> 10 \mu\text{m}$
 - Feinstaub: PM_{10}
 $\text{PM}_{10-2,5}$ ($< 10 \mu\text{m}$ bis $> 2,5$): „coarse fraction“
 $\text{PM}_{2,5}$ ($< 2,5 \mu\text{m}$): „fine fraction“
 - Feinststaub bzw. ultrafeiner Staub: $\text{PM}_{0,1}$ ($< 0,1 \mu\text{m}$)

Nach analytischen Methoden

- Einteilung nach der jeweiligen analytischen Methode (z.B. „suspended particulate matter“) (WHO 2003).

2.4.3. Lebenszeit der Partikel

Partikel sind nicht statisch, sondern unterliegen fortlaufend Umwandlungsprozessen. Mengemäßig haben ultrafeine Partikel den größten Anteil in einem Partikelgemisch, ihre Massenkonzentration ist allerdings gering. Ultrafeine Partikel besitzen hohe Diffusionsgeschwindigkeiten und legen große Distanzen zurück. Innerhalb weniger Stunden erfolgt meist eine Koagulation mit größeren Partikeln (scavenging effect) oder ein Wachsen durch Kondensation, wodurch die Partikel in den Anreicherungsbereich (accumulation mode) übergehen. Folglich beträgt die Lebensdauer von ultrafeinen Partikeln nur Bruchteile von Sekunden bis mehrere Stunden. Haben die Partikel einen Durchmesser $> 0,1 \mu\text{m}$ erreicht, nimmt die Diffusionsgeschwindigkeit ab, wodurch sich die Lebensdauer auf mehrere Wochen erhöht. Feinpartikel machen den Hauptteil der Partikelmasse aus und können schlecht eliminiert werden. Aus der Atmosphäre werden sie größtenteils durch Niederschläge oder Impaktion entfernt. Partikel $> 10 \mu\text{m}$ bewegen sich nur über kurze Distanzen und sedimentieren nach ihrer Emission rasch (Minuten bis Stunden) (US-EPA 2002, Wichmann 2003).

2.4.4. Gesundheitliche Aspekte

2.4.4.1. Ablagerungsmuster von Partikeln in der Lunge und ihre Wirkung

Das Ablagerungsmuster wird entschieden von der Partikelgröße geprägt. Dabei gilt, je kleiner die Partikel, desto tiefer erfolgt die Ablagerung im Bronchialsystem (Dockery und Pope 1994). Unter Voraussetzung der Nasenatmung gelangen Partikel $> 5,0 \mu\text{m}$ meist nur in die oberen Atemwege und werden hauptsächlich über Vibrissen (Nasenhaare) beseitigt. Partikel $< 5,0 \mu\text{m}$ sind bronchialgänglich. Im Vergleich dazu dringen Partikel bei Mundatmung nahezu ungehindert in die tracheobronchiale und alveoläre Region vor (Dockery und Pope 1994, Maroni et al. 1994, US-EPA 2002). Im Rachen und in den Bronchien werden Partikel innerhalb kürzester Zeit (ein bis drei Tagen) von den mit feinen Zilien ausgestatteten oberflächlichen Schleimhautzellen Richtung Kehlkopf transportiert (= mukozillärer Transport). Die Schleimhautzellen produzieren einen Surfactant Film, in dem Partikel befördert werden. Sind die Partikel im Kehlkopf angelangt, erfolgt die Entfernung durch Aushusten oder Verschlucken. Werden die Partikel verschluckt, erfolgt eine Ausscheidung über den Magen-Darm-Trakt (Maroni et al. 1994, Dockery und Pope 1994, Gehr et al. 2000, US-EPA 2002, Kreyling et al. 2006). In den Bronchiolen und Alveolen erfolgt die Entfernung von Partikel $< 2,0 \mu\text{m}$ hauptsächlich durch Fresszellen des Organismus (Ma-

krophagen). Daher ist die Verweildauer dieser Partikel länger und kann bis Jahre andauern (Lehnert 1992, Dockery und Pope 1994, US-EPA 2002, Rothe 2006). Ultrafeine Partikel (UFP) $< 0,1 \mu\text{m}$, welche sich bevorzugt alveolär ablagern, werden aufgrund ihrer Größe nur schlecht von den Makrophagen beseitigt. Nur zu etwa ein Drittel werden UFP phagozytiert und dann über den Atemtrakt zum Kehlkopf transportiert und dort verschluckt (Dockery und Pope 1994, US-EPA 2002, BAFU 2006, Kreyling et al. 2006). Die große Mehrheit der UFP, etwa zwei Drittel, verbleiben zunächst auf der Oberfläche der Alveolen. Nach Überquerung des Alveolarendothels können sie entweder dauerhaft im Gewebe zwischen den Alveolen (= interstitielles Gewebe) abgelagert werden (Kreyling und Scheuch 2000, US-EPA 2002, US-EPA 2004, Gesundheitsamt Nürnberg 2005) oder allein bzw. mit Hilfe von Makrophagen über die Lymphbahn bzw. die Blutbahn in den Organismus gelangen (Dockery und Pope 1994, US-EPA 2004, Kreyling 2006). Neben den zellulären Abwehrmechanismen gibt es im Körper auch immunologische. Mit Hilfe körpereigener Stoffe wie Immunglobuline und Lymphokine können Fremdkörper aufgespürt, immobilisiert, entfernt und zerstört werden (Fenters et al. 1979, Rom und Markowitz 2007).

2.4.4.2. Gesundheitlichen Auswirkungen in Bezug auf PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und $\text{PM}_{0,1}$

Ultrafeine Partikel ($\text{PM}_{0,1}$) lösen vor allem Erkrankungen des Herzkreislaufsystems, allergische Reaktionen, Asthmaerkrankungen und Entzündungsreaktionen in der Lunge (Bronchitis) aus. Zudem wurde eine Korrelation zur Mortalität nachgewiesen (Peters et al. 1997, Wichmann et al. 2000, Penttinen et al. 2001). Aus Untersuchungen an Ratten ergeben sich Hinweise, dass ultrafeine Partikel im Vergleich zu feinen Partikeln toxischer in Form von schwereren Entzündungsreaktionen und Lungenödemen wirken. Zudem ist die Mortalität höher (BAFU 2006). Der Mechanismus dieser dramatischen Lungenverletzung ist wahrscheinlich eine rapide epitheliale, interstitielle und endotheliale Translokation, wodurch es zu Membranverletzungen und Zellnekrose durch Freisetzung proinflammatorischer und anti-inflammatorischer Mediatoren kommt (Oberdörster et al. 1994, Burnett et al. 1997, Osier und Oberdörster 1997, Li et al. 1999, Lipfert et al. 2000).

Sowohl die feinen Partikel ($\text{PM}_{2,5}$) als auch die „coarse particle“ ($\text{PM}_{10-2,5}$) korrelieren mit erhöhter Mortalität und kardiovaskulären bzw. respiratorischen Erkrankungen (Schwartz et al. 1996a+b, Castillejos et al. 2000, Klemm et al. 2000, Schwartz und Neas 2000). Langzeitexpositionen mit der $\text{PM}_{2,5}$ Fraktion sind dabei mit Lungenkrebs-Mortalität assoziiert (Mauderly 1996, Pope et al. 2002, WHO 2003). Zudem konnte ein Zusammenhang zwi-

schen der $PM_{2,5}$ Belastung und Mittelohrentzündungen bei Kindern < 2 Jahre aufgedeckt werden (Brauer et al. 2006). Demgegenüber ist die PM_{10} Fraktion stärker mit Luftwegenerkrankungen, verminderter Lungenfunktion (Pope et al. 1995), Asthmaanfällen und einem erhöhtem Risiko für kardiovaskuläre Krankenhausaufenthalte und Mortalität verbunden (Dockery und Pope 1994, Schwartz 1996). Langzeit PM_{10} Expositionen stehen zudem mit postneonataler respiratorischer Mortalität in Verbindung (Bobak und Leon 1992). Ferner konnten Effekte der PM_{10} und $PM_{2,5}$ Fraktion auf das fetale Wachstum (Wachstumshemmung) und die Entwicklung in den ersten Monaten der Schwangerschaft nachgewiesen werden (Dejmek et al. 1999, Dejmek et al. 2000).

2.4.4.3. Risikogruppen

Risikogruppen für umgebende Partikel stellen vor allem Menschen mit bereits existierenden Herzerkrankungen oder pulmonalen Erkrankungen (Costa und Dreher 1997, Dockery 2001, Goldberg et al. 2001, US-EPA 2004), Diabetiker, genetisch vorbelastete Personen (Maroni et al. 1995, Goldberg et al. 2001, WHO 2004, Hessischer Landtag 2005), Asthmatiker, Raucher (Withey 1989), Kinder, Ungeborene, ältere Personen, und sozioökonomisch Vernachlässigte dar (Dockery und Pope 1994, Schwartz 1994, WHO 2004). Insbesondere bei Kindern erfolgt eine verstärkte Feinpartikelablagerung angesichts veränderter Atemungsmuster und veränderter Atemwegsstrukturen (Maroni et al 1995, Hessischer Landtag 2005).

2.4.5. Grenzwerte

2.4.5.1. Außenluft

Die jährlichen Außenluftgrenzwerte für $PM_{2,5}$ wurden von der US-EPA auf maximal $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für PM_{10} auf maximal $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt (US-EPA 1987, US-EPA 1997). 2006 wurde der Jahresgrenzwert für PM_{10} allerdings aufgehoben.

$PM_{2,5}$:	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Jahresmittelwert
PM_{10} :	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Jahresmittelwert

Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt angesichts der vom Feinstaub ausgehenden Gesundheitsgefahren in ihren WHO-Luftgüte-Richtlinien folgende Grenzwerte für Feinstaub (WHO 2005):

$PM_{2,5}$:	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Jahresmittelwert
	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-Stunden-Mittelwert

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

PM ₁₀ :	20 µg/m ³ Jahresmittelwert
	50 µg/m ³ 24-Stunden-Mittelwert

In Europa wurden mit der Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 Grenzwerte für Feinstäube in der Außenluft festgelegt. Ab 2005 soll erreicht werden, dass der 24 - Stunden - Mittelwert nur an 35 Tagen im Jahr überschritten wird. Ab 2010 nur an 7 Tagen im Jahr (Richtlinie 1999/30/EG 1999).

2005	PM ₁₀ : 40 µg/m ³ Jahresmittelwert
	50 µg/m ³ 24-Stunden-Mittelwert
2010	PM ₁₀ : 20 µg/m ³ Jahresmittelwert
	50 µg/m ³ 24-Stunden-Mittelwert

Grenzwerte für PM_{2,5} gelten in Europa im Gegensatz zu den USA nicht (BAFU 2006).

2.4.5.2. Innenraumluft

Um Schädigungen der Atmungsorgane von staubexponierten Beschäftigten zu vermeiden, hat der Ausschuss für Gefahrenstoffe (AGS) beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales am 1. Mai 2001 folgende Staubgrenzwerte in die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz- Luftgrenzwerte“ aufgenommen (Tb 3):

Tabelle 3: Staubgrenzwerte

Allgemeiner Staubgrenzwert	
Alveolengängige Fraktion	
• für bestimmte Tätigkeiten ¹⁾	6 mg/m ³
• im Übrigen	3 mg/m ³
Einatembare Fraktion	
• für bestimmte Stoffe ²⁾	10 mg/m ³
• im Übrigen	10 mg/m ³

1) = für Arbeiten in Bau-, Steine- Erdindustrie sowie für Bereiche und Tätigkeiten, die in einem Analogieschluss den genannten Tätigkeiten zugeordnet werden können: Stemmarbeiten, Schleifarbeiten, Schneid- und Fräsarbeiten et cetera (etc.) oder Bekohlungsbereiche in Kraftwerken

2) z. B. Boroxid, Tantal, Molybdän und seine unlöslichen Verbindungen, nicht eingestufte Stäube von künstlichen Mineralfasern

„Der Allgemeine Staubgrenzwert ist als Schichtmittelwert definiert und ist für schwer lösliche bzw. unlösliche Stäube oder Mischstäube anzuwenden. Die Anwendung des allgemeinen Staubgrenzwertes erstreckt sich nicht auf Krebs erzeugende und Erbgut verändernde und fortpflanzungsgefährdende Stoffe, lösliche Stäube oder ultrafeine und grob disperse Partikel“ (TRGS 900 2001).

Aus den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnissen lassen sich sowohl für Feinstäube

als auch für ultrafeine Staubpartikel keine Grenzwerte für die Partikelbelastung in der Innenraumluft festlegen, unterhalb derer keine Gesundheitsgefährdung vorliegt. Zudem liegen keine gesetzlichen Regelungen für die Innenraumluft vor (WHO 2003, Hessischer Landtag 2005). Lediglich ein Ansatzpunkt für einen Partikelgrenzwert im Innenraum liefert die Arbeitsstättenrichtlinie. Diese betrachtet eine ausreichend gesundheitlich zuträglichke Atemluft in Arbeitsräumen dann als vorhanden, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht, wobei die Staubkonzentration (PM_{10}) nicht höher als der EG Staubgrenzwert für die Luft der Troposphäre von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sein sollte (Richtlinie 1999/30/EG 1999, Pflaumbaum et al. 2003).

2.4.6. Einflüsse auf die Partikelkonzentration im Innenraum

Aktivitäten der Nutzer und Emissionslasten im Raum

Die Innenraumpartikelkonzentrationen werden in Abhängigkeit von ihrer Größe stark durch die Nutzer (Bekleidung, Hautschuppen), deren Aktivitäten (Umhergehen, Staubsaugen, Staub wischen, Kochen u.s.w) (Lefcoe und Inculet 1975, Schneider et al. 1994, Thatcher und Layton 1995, Wallace 1996a, Kildesø et al. 1999, Luoma und Batterman 2001, Blondeau et al. 2005, BAFU 2006, Heudorf et al. 2007, Heudorf 2008) und der Personendichte im Raum beeinflusst (Heudorf 2008, Horemans et al. 2008). Dabei kann ein größerer Einfluss der Aktivitäten auf große Partikel nachgewiesen werden (Heudorf et al. 2007). Wird in Innenräumen geraucht, resultiert eine enorme Belastung mit $PM_{2,5}$ und PM_1 (Leaderer et al. 1984, Chang et al. 1985, Owen et al. 1992, Matson 2004, Nazaroff 2004, Hessischer Landtag 2005, Slezakova et al. 2009). Ultrafeine Partikelkonzentration ($0,1\text{-}0,2 \mu\text{m}$) resultieren aus der chemischen Reaktion von Ozon und bestimmten VOC, die im Innenraum vor allem in Holzprodukten, Lösungsmitteln und Lufterfrischern (Terpene) enthalten sind (Weschler et al. 1992, Weschler und Shields 1999, Wainman et al. 2000).

Luftwechsel und Lüftungsmodus

Bei natürlicher Belüftung wird die Innenpartikelkonzentration von der Außenpartikelkonzentration beeinflusst (Wallace 1996a). Vor allem in Regionen mit hohem Verkehrs- bzw. Industriedichten sind hohe Außenpartikelkonzentrationen nachweisbar, wodurch bei natürlicher Belüftung die Innenraumpartikelkonzentration ansteigt (Wallace 1996a, Øie et al. 1997, Hitchins et al. 2000, Partti-Pellinen 2000, Koponen et al. 2001, Matson 2004, Hussein 2005, Blondeau et al. 2005). Sind demgegenüber die Außenpartikelkonzentrationen geringer als die Innenpartikelkonzentrationen, kann unter Umständen mit Hilfe der

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

natürlichen Belüftung eine Partikelentfernung aus Innenräumen erreicht werden (Wallace 1996a, Chang et al. 2006, Heudorf 2008). In klimatisierten Räumen werden die Außenpartikel vor dem Eintritt in den Innenraum an Filter gebunden, wodurch die Innenpartikelkonzentration von der Außenpartikelkonzentration relativ unbeeinflusst bleibt (Dockery und Spengler 1981, Wallace 1996a, Partti-Pellinen 2000, Janssen et al. 2002, Pasanen et al. 2002, Chang et al. 2006, Järnström et al. 2008). Zudem können durch Boden-Decke-Belüftungssystemen sehr effizient Schwebestäube aus der Innenraumluft entfernt werden (Chao und Wan 2004). Allerdings zeigt sich dieser protektive Effekt von Klimaanlage nicht bei starker Verschmutzung des Belüftungssystems oder bei unwirksamen bzw. unsachgemäß installierten Filtern (Seifert 1991).

Technische Geräte

Kopierer, Drucker und speziell Laserdrucker emittieren Partikel (Black und Worthan 1999, Lee et al. 2001, Bake und Moriske 2006, He et al. 2007). Computer sind demgegenüber meist keine Quellen für Partikel. Dennoch kann es zur Reemission von in den Geräten abgelagerten Partikeln kommen (Destailats et al. 2008).

Luftfeuchte

Physikalisch gesehen kommt es bei niedrigen Luftfeuchten zur Austrocknung von Gegenständen, wodurch die Partikel schlechter haften und frei werden. Dadurch resultiert eine Partikelerhöhung im Innenraum (Schramek et al. 2003).

Vliesfaktor und Regalfaktor

Ein großer Vliesfaktor und ein großer Regalfaktor sind mit niedrigen Partikelkonzentrationen verbunden (Skov et al. 1990).

Reinigung

Durch verschiedene Reinigungsmethoden werden vor allem Grob- und Feinpartikel reduziert (Kivistö und Hakulinen 1981, Schneider et al. 1994, Franke et al. 1997, Pesonen-Leinonen et al. 2004, Heudorf et al. 2007, Heudorf 2008). Demgegenüber bleiben ultrafeine Partikel von Reinigungsmaßnahmen unbeeinflusst (Thatcher und Layton 1995).

Pflanzen

Partikel können sich an im Innenraum vorkommende Pflanzen binden. Dabei resultiert eine Absenkung der freien Partikelkonzentration im Innenraum (Lohr und Pearson-mims

Allgemeine Darstellung zu den ausgewählten Innenraumfaktoren

1996, Bake und Moriske 2006).

3. ProKlimA-Projekt

3.1. Zielstellung

Die erste deutsche Untersuchung zum SBS war eine von Kröling 1985 veröffentlichte Studie. In dieser wurde der Einsatz von Klimaanlage als Anlass für mehr gesundheitliche Beschwerden beschrieben. In den Folgejahren wurden weltweit Studien zu den Ursachen des SBS durchgeführt. Allerdings wurde bald klar, dass es nur mit Hilfe groß angelegter Studien möglich sein würde, die Ursachen zu erforschen. Hier setzte das ProKlimA-Projekt an.

Folgende Ziele verfolgte das Projekt:

- Gewinnung von Erkenntnissen über Befindlichkeit, Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten in Bürogebäuden unter besonderer Berücksichtigung von Vorhandensein und Beschaffenheit raumluftechnischer Anlagen.
- Aufschluss über Zusammenhänge zwischen Klimatisierungstypen und Befindlichkeit, Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmer in klimatisierten Bürogebäuden zu erlangen.
- Darstellung möglicher kausaler Beziehungen zwischen Befindlichkeitsstörungen und physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Raumklimas und gegebenenfalls Verifizierung durch experimentelle Untersuchungen (Interventionen).

3.2. Studiendesign

Das ProKlimA-Projekt wurde zwischen 1995 - 1998 durchgeführt. Dabei setzte sich die ProKlimA-Projektgruppe aus 7 Forschergruppen verschiedener Fachdisziplinen zusammen. Das Messprogramm erfasste 14 Bürogebäude, wobei 6 natürlich und 8 mechanisch belüftet waren. Insgesamt wurden 1500 Arbeitsplätze detailliert untersucht. Im Minimum waren 233 Angestellte, im Maximum 1500 Angestellte pro Gebäude beschäftigt. Mit Ausnahme eines Gebäudes wurden alle Bürogebäude zwischen 1960 - 1995 erbaut. Es wurden nur Bürogebäude ausgewählt, in denen zum Untersuchungszeitpunkt mehr als 200 Beschäftigte tätig waren und die ohne größere bauliche Veränderungen in den letzten zwei Jahren betrieben worden waren. Öffentlicher Dienst und Industrie waren als Betreiber zu gleichen Anteilen vertreten. Ein weiteres Auswahlkriterium war zudem eine möglichst breite Streuung der Bürogebäude über das gesamte Bundesgebiet und die Einbeziehung

mechanisch belüfteter Gebäude verschiedener Klimatisierungstypen.

Planung, Durchführung und Auswertung der Untersuchungen im ProKlimA-Projekt erfolgte nach einem festgelegten Design. Zunächst wurden mit modulären Fragebögen zum Messzeitpunkt 1 (**MZP1**) Befragungen aller im jeweiligen Gebäude anwesenden Beschäftigten und Begutachtungen von Gebäude und Gebäudetechniken (Klimaanlagen) durchgeführt. Nach Analyse des Fragebogens konnten jeweils 60 befindlichkeitsgestörte und 60 nicht befindlichkeitsgestörte Probanden (Subgruppen) pro Gebäude ermittelt werden, welche farblich in den Raumplänen markiert wurden. Aus logistischen Gründen mussten in einem Raum mehrere Personen gleichzeitig untersucht und ihr Arbeitsplatz vermessen werden, weshalb die Daten eines Messpunktes für bis zu 6 befragte Probanden herangezogen wurden. Zum Messzeitpunkt 2 (**MZP2**) wurden dann die ermittelten Subgruppen einer verkürzten Befragung unterzogen. Parallel dazu fanden physikalische, chemische und mikrobiologische Innenraummessungen mit etwa 40 räumlichen Messpunkten (Räume oder Raumsegmente) und eine ergonomische Bewertung des Arbeitsplatzes statt. Gleichzeitig erfolgte auf freiwilliger Basis eine medizinische Diagnostik der Augen, Atemwege und Haut. Nach Abschluss der experimentellen Basisuntersuchungen führte die ProKlimA-Gruppe mit dem Gesamtdatensatz über alle Gebäude eine multivariate Analyse durch (Datenanalyse 2). Anhand der Ergebnisse konnte in 2 von 14 Bürogebäuden interveniert werden (**MZP 3**).

3.3. Methoden

3.3.1. Gebäude- und raumluftechnische Anlagenbegutachtung

Zum MZP1 wurde durch ein Expertenteam eine eintägige Inspektion, Bewertung und Messung der Bausubstanz der Bürogebäude und der raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) durchgeführt. Bei der Inspektion der Gebäude durch qualifiziertes Personal wurden letztendlich 15 Variablen aufgenommen, wovon für diese Arbeit die Lage des Gebäudes, das Baujahr, Jahreszeit, letzte Renovierung, Bürotypen und die Reinigungsintervalle von Interesse waren. Die technische Bewertung von RLT-Anlagen erfolgte mit einem eigens dafür entwickelten Prüfverfahren durch Messung ausgewählter chemischer, mikrobiologischer und allergologischer Faktoren in relevanten Bauteilen. Dabei wurden nur die Klimaanlagen näher untersucht, die direkt Arbeitsplätze versorgten. Für die Arbeit sind das Baujahr der Anlage, die RLT-Anlagenart, die Lüftungsart, das Lüftungsprinzip, die Luftführung im Raum, die Befeuchterart, der Wartungszustand der Anlage, der Wartungszu-

stand der Filter, der Wartungszustand der Befeuchter, der Wartungszustand des Rotationswärmeaustauschers und das Datum des letzten Filteraustausches von Bedeutung.

Die hygienische Bewertung des Wartungszustandes erfolgte mit Hilfe einer Skala von 1-5. Die Zuordnung der Skalenwerte orientierte sich am Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) 24176-0 „Lufttechnische Ausrüstung in Gebäuden - Leistungsprogramm für die Inspektion“ (Tb 4)

Tabelle 4: Skala zur Bewertung des Wartungszustandes einer RLT-Anlage

Note	Urteil	Begründung
1	Sehr gut	Praktisch wie im Neuzustand
2	Gut/befriedigend	Geringe Abnutzung, Zustand der Nutzungszeit entsprechend
3	ausreichend	Erhöhte Abnutzung/ Zustand aber noch akzeptabel
4	mangelhaft	Zustand unzureichend durch zu starke Abnutzung
5	ungenügend	Zustand völlig unzureichend

Die hygienisch relevanten Komponenten der RLT-Anlagen wurden durch die Kriterien Verschmutzung, Korrosion und Beschädigung beurteilt. Jede Komponente erhielt eine Note zwischen 1 - 5, woraus dann durch Mittelwertbildung eine Gesamtnote gebildet wurde, die den Wartungszustand der gesamten RLT-Anlage repräsentierte.

3.3.2. Physikalische Messungen

Lufttemperatur, Luftfeuchte

Zur Bestimmung der Lufttemperatur und Luftfeuchte wurde der Sensor des Raumklimamessgeräts (RST-Meter) an ausgewählten Arbeitsplätzen 15 Minuten in Kopfhöhe des Probanden in Sitzposition (1,10 m) aufgestellt. Es erfolgte die Ermittlung der Messgröße Luftfeuchte an zirka (ca.) 100 Messplätzen pro Gebäude. Die Messgenauigkeit der Lufttemperatur betrug $\pm 0,1$ °C und die der relativen Luftfeuchte 4 %.

Partikel

Die Bestimmung der Partikelkonzentration erfolgte mit einem Staubbmessgerät 1.105 der Fa. Grimm. Dabei wurde über einen speziellen Ansaugknopf Raumluft über 15 Minuten zugeführt, welche mittels Streulichtprinzip kontinuierlich analysiert wurde. Das Gerät ermöglichte eine Klassifizierung der Partikel in 8 Größenklassen, wobei die Angabe der Messwerte kumulativ ist, d.h. in jeweils höheren Klassen sind Werte der darunter liegenden Klassen mit enthalten. Die Messgenauigkeit betrug ± 2 %.

Luftwechsel

Der Luftwechsel wurde durch ein Tracergas (Schwefelhexafluorid) bestimmt, welches in die zu messenden Räume eingebracht und mit Ventilatoren verwirbelt wurde. Die Bestimmung des Luftwechsels erfolgte durch Aufzeichnung des Konzentrationsabfalles des Tracergases durch einen Multigas Monitor (Type 1302, Fa. Bruel & Kjaer) bei geschlossenen Fenstern über 1 h in jeweils 10 Räumen pro Gebäude. Die Messgenauigkeit betrug $\pm 0,1$ /h.

3.3.3. Chemische Messungen

Kohlendioxid

Die Bestimmung der CO₂-Konzentration erfolgte mit einem kontinuierlich anzeigenden CO₂ Analysator (Gasanalysegerät Ultramat, Fa. Siemens) nach dem Prinzip der nichtlinearen Infrarotadsorption. Die Messdauer betrug 10 Minuten, die Nachweisgrenze war bei 10 ppm. Die Messgenauigkeit betrug ± 10 %.

Volatile Organic Compounds

Die Probenahme erfolgte mit handelsüblichen Passivsammlern vom Typ 3M 3500 (passive Sorption an Aktivkohle). Die sorbierten Substanzen wurden mit 1,5 ml auf 5 - 8 °C gekühltem Schwefelkohlenstoff, benzolarm unter Zusatz von 33,5 µg/ml Cyclooctan als Interner Standard desorbiert. Die analytische Auftrennung erfolgte am Gaschromatograph HP 5890/2. Als Trennsäule wurde eine fused- silica Kapillarsäule (DB5) mit folgenden Parametern verwendet:

- Größe: 30 m * 0,249 mm
- Filmdicke: 0,25 µm
- Filmart: (5 % Phenyl)- Methylpolysiloxan

Die Berechnung der TVOC-Konzentration ergab sich aus dem Gesamtgehalt an extrahierbaren flüchtigen organisch-chemischen Stoffen. Konzentrationen unbekannter TVOC wurden auf der Basis von Toluol berechnet. Die Nachweisgrenze lag bei 14,6 µg/m³ für Innenraum TVOC bei einer Expositionszeit von 40 h, für Außenraum TVOC bei 6,1 µg/m³ bei einer Expositionszeit von 4 Tagen.

3.3.4. Biologische Messungen

Bakterien in der Raumluft

Zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Raumluft wurde das SAS-Super 90 (Luftkeimsammler) in einer Höhe von 1,20 m am definierten Messpunkt aufgestellt. Es kamen dabei Rodac-Platten mit Blutagar zur Anwendung und die angesaugte Luftmenge betrug 100 L. Die Blutplatten wurden 48 h bei 37 °C kultiviert und anschließend zur Auswertung im Kühlschrank gelagert. Die Nachweisgrenze lag bei 10 KbE/m³ (kolonienbildende Einheiten pro Kubikmeter Luft).

Schimmelpilzsporen in der Raumluft

Zur Bestimmung der Schimmelpilzsporenkonzentration in der Raumluft wurde das SAS - Super 90 am definierten Messpunkt in einer Höhe von 1,20 m aufgestellt. Es kamen Rodac – Platten mit Malzextrakt Agar zur Anwendung, die angesaugte Luftmenge betrug 50 Liter. Die Pilzplatten wurden bei Zimmertemperatur kultiviert und eine Auswertung erfolgte am 3., 6. und 10. Tag. Die Nachweisgrenze lag bei 20 KbE/m³.

3.3.5. Empfundene Luftqualität

Als Besonderheit der chemischen Messungen wurde die Luftqualität sensorisch durch ein Panel bewertet. Das Panel setzte sich aus bis zu 7 Männern und 4 Frauen im Alter von 30 - 68 Jahren zusammen. Am Vortag der Gebäudeuntersuchung erfolgte eine Kalibrierung des Geruchspanel mit Referenzproben über 2 h. Im Gebäude standen am Untersuchungstag die Referenzproben wiederum in einem mit Außenluft gut belüfteten Raum zur Verfügung. Vor der Beurteilung der Luftqualität konnten die Personen ihren Geruchssinn im Freien, in einem gut gelüfteten Raum oder an einem offenen Fenster abgleichen. Die Räume wurden während der Arbeitszeit mit besetzten Arbeitsplätzen begangen und mit Referenzgeruchssintensitäten verglichen. Die Geruchswahrnehmung erfolgte entsprechend der nach oben offenen Dezipolskala nach Fanger. Für die Bewertung war dabei der erste Eindruck der Raumluftqualität entscheidend. Die Nachweisgrenze lag bei 0,5 dezipol.

3.3.6. Arbeitswissenschaftliche Untersuchungen

Arbeit wirkt innerhalb des unterstellten Ursache-Wirkungs-Modells als Mediatorvariable, die die Zielgrößen beeinflusst, ohne dass ein unmittelbarer Zusammenhang zu raumklimatischen Kenngrößen besteht. Dabei gliederten sich die durchgeführten arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen in die Tätigkeitsbewertung, Arbeitsplatzgestaltung und

Konzentrationsfähigkeit. Nachfolgend wird lediglich auf die Arbeitsplatzgestaltung näher eingegangen.

Arbeitsplatzgestaltung

Zu Beginn der 90 er Jahre entwickelte das Institut ASER einen Bildschirmfragebogen zur Schwachstellenanalyse an Bildschirmarbeitsplätzen. Folgendes wurde bei allen Büroarbeitsplätzen überprüft:

- Raumcharakteristika wie Reinigung, Raumausstattung, Personen im Raum, Raumvolumen, Rauchen in näherer Umgebung
- Arbeitsmittel wie Arbeitstisch, Arbeitsstuhl, Vorlagenhalter, Fußstütze
- Arbeitsumgebung wie Lärm(-quellen), Beleuchtung

Zusätzlich wurden bei den Arbeitsplätzen mit Bildschirmarbeit folgende Module geprüft:

- Bildschirm (Aufstellung, Technik)
- Eingabegeräte (Tastatur, Maus, Belegeingabe)
- Gesundheitsvorsorge und Softwaregestaltung

Aus den Teilgruppen Raumabmessung und Raumausstattung wurden der Vliesfaktor und der Regalfaktor nach folgenden Gleichungen bestimmt:

Vliesfaktor	=	100*	$\frac{\text{Bodenfläche / Stofffläche}}{\text{Raumvolumen}}$	[%] bei Räumen mit textilen Bodenbelägen
Vliesfaktor	=	100*	$\frac{\text{Stofffläche}}{\text{Raumvolumen}}$	[%] bei Räumen mit anderen Bodenbelägen
Regalfaktor	=	100*	$\frac{\text{Länge der Regalmeter imRaum}}{\text{Raumvolumen}}$	[%]

Der Vliesfaktor beschreibt die staubaktive Fläche (Stofffläche) in Relation zum Raumvolumen. Der Regalfaktor beschreibt die Länge der im Raum befindlichen Regalwände in Relation zu Raumvolumen

3.3.7. Statistische Methoden

Nach Abschluss der experimentellen Basisuntersuchungen (MZIP2) erstellte jeder der 7 Projektpartner anhand einer Schlüsseldatei einen eigenen Datensatz. Diese Teildaten wurden in einem Gesamtdatensatz für das jeweilige Gebäude zusammengeführt. Nach einer ersten deskriptiven Auswertung der in einem Gebäude gewonnen Ergebnisse wurde von je-

dem Projektpartner jeweils ein Teilbericht erstellt, der die auf die Variablen bezogenen Ergebnisse enthielt. Danach erfolgte eine ausführliche statistische Analyse. Das Ziel dieser komplexen Untersuchungen war die Darstellung von Zusammenhängen zwischen hypothetischen Einflussgrößen und den Zielgrößen unter Berücksichtigung von Modulatoren, welche den Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Zielkriterien verändern können.

3.4. Ergebnisse ProKlimA-Projekt

Für Befindlichkeitsstörungen im Sinne des SBS wurden keine signifikanten Einflüsse aus dem Bereich der untersuchten physikalischen, chemischen und biologischen Raumklimavariablen gefunden. Lediglich TVOC-Konzentrationen über dem 90. Perzentil ($\geq 666 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zeigten ein signifikant erhöhtes Beschwerderisiko hinsichtlich Augen, Haut, Nase und Vegetativum. Befindlichkeitsstörungen im SBS Komplex sind deshalb in erster Linie mit der Disposition der Befragten sowie mit psychosozialen und arbeitsbedingten Faktoren assoziiert.

Die gemessenen Parameter lagen im Normbereich, lediglich bei den TVOC- und Stickstoffkonzentrationen gab es Auffälligkeiten. Allgemein lagen höhere Belastungen an chemischen, physikalischen und biologischen Parametern in natürlich belüfteten Gebäuden vor. Dennoch wurden natürlich belüftete Gebäude durch ihre Bewohner besser bewertet. Natürlich belüftete Gebäude folgten in ihrer PAQ erwartungsgemäß eher der Außenluft und hatten dabei aufgrund einer geringeren Luftwechselrate eine signifikant schlechtere PAQ als mechanisch belüftete Gebäude (Bischof et al. 2003).

4. Analyse ausgewählter Faktoren der ProKlimA-Studie

4.1. Ziele der Arbeit

Das Ziel der ProKlimA-Projektgruppe war die Suche nach Zusammenhängen zwischen Einflussgrößen aus dem Raumklima und der Zielgröße Befindlichkeit, unter Berücksichtigung sogenannter Modulatoren (Abbildung 3). Es zeigte sich lediglich bei den VOC eine Verbindung zur Befindlichkeit. Alle anderen Einflussgrößen wiesen keinen signifikanten Zusammenhang auf. Dennoch können von Einflussgrößen aus dem Raumklima gesundheitliche Beeinträchtigungen im Sinne einer SBS ausgehen. Das Ziel sollte es deshalb sein, die Innenraumkonzentrationen zu verringern und somit ein gutes Raumklima zu erreichen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Analyse potentieller Einflüsse aus Innen- und Außenluft auf ausgewählte Einflussgrößen (CO₂, VOC, PAQ, Partikel) aus dem ProKlimA-Projekt. Zudem sollen mögliche Unterschiede in der Wirkung der Einflüsse bei verschiedenen Belüftungsmodi (klimatisierten/natürlich belüftet) berücksichtigt werden. Aus den Ergebnissen sollte es möglich sein Empfehlungen für den Bau bzw. Betrieb von Büroräumen auszusprechen.

Ergebnisse

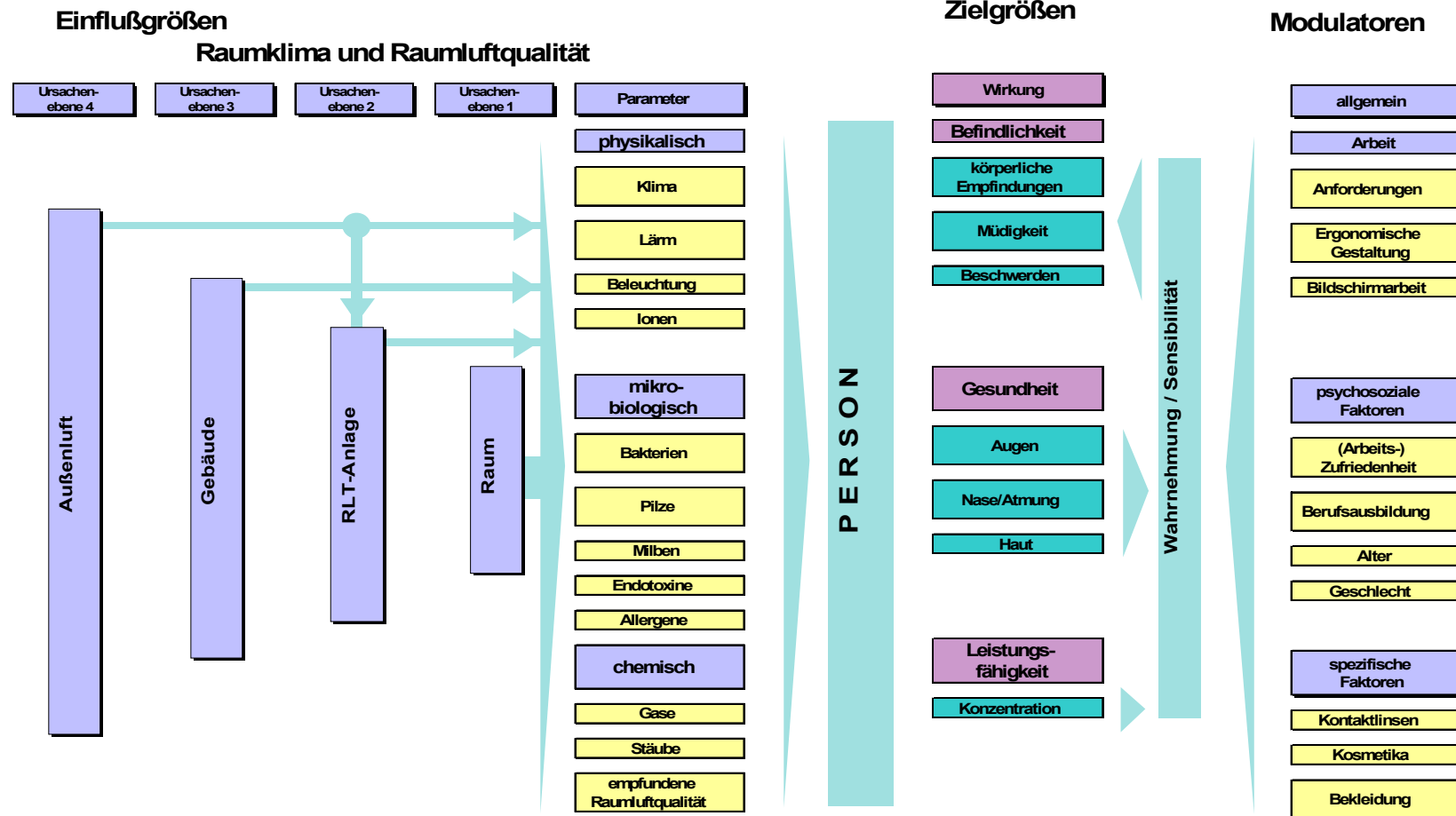


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Zusammenhangs wichtiger im ProKlima-Projekt erfasster Variablen (Bischof et al. 2003)

4.1.1. Arbeitshypothesen

Lüftungsmodus

- Klimatisierung korreliert mit niedrigeren CO₂- (Pasanen et al. 2002, Scheff et al. 2002), TVOC- (Girman 1989, Weschler et al. 1992) und Partikelkonzentrationen (Dockery und Spengler 1981, Wallace 1996a, Partti-Pellinen 2000, Janssen et al. 2002, Pasanen et al. 2002, Järnström et al. 2008). Zudem ist die PAQ verbessert (Wargocki et al. 2002). Voraussetzung ist allerdings eine regelmäßige Wartung (Pejtersen et al. 1989, Seifert 1991, Bluysson 1993, Morrison et al. 1998, Seppänen und Fisk 2004, Wargocki 2004).
- Quelllüftungssysteme/Boden-Decke-Systeme sind mit niedrigeren TVOC- und CO₂- Konzentrationen verbunden (Yang und Chen 2001, Chao und Wan 2004, He et al. 2005).

Außenpartikelkonzentration

- Durch Klimaanlage wird der Einfluss der Außenpartikel- auf die Innenraumpartikelkonzentration reduziert (Partti-Pellinen 2000).
- In natürlich belüfteten Gebäuden folgen die Innenpartikelkonzentrationen ungehindert den Außenpartikelkonzentrationen (Wallace 1996a, Øie et al. 1997, Hitchins et al. 2000, Koponen et al. 2001, Matson 2004, Hussein 2005, Blondeau et al. 2005).

Aktivitäten der Nutzer

- Rauchen erhöht das Risiko für höhere Partikel- (Leaderer et al. 1984, Chang et al. 1985, Owen et al. 1992, Matson 2004, Nazaroff 2004, Hessischer Landtag 2005) und TVOC-Konzentrationen (Globes et al. 1992, Shaughnessy et al. 1999) und schlechte PAQ (Fanger 1988, Fitzner und Finke 1996).
- Ein hoher Metabolismus korreliert mit höheren CO₂-Konzentrationen (Pettenkofer 1858, Wanner 1982, Pluschke 1996, Seppänen et al. 1999, Seppänen und Fisk 2004).
- Ein kleines Raumvolumen ist mit höheren CO₂-Konzentrationen (Corsi et al. 2002) verbunden.

PC-Arbeit

- PCs im Raum sind mit niedrigeren CO₂- (Bako- Biro et al. 2004), höheren TVOC- (Black und Worthan 1999, Bako-Biro et al. 2004) und höheren Partikelkonzentrationen (Black und Worthan 1999, Destailats et al. 2008) sowie schlechter PAQ (Bako-Biro et al. 2004) verbunden.

Emissionslasten im Innenraum

- Höhere TVOC-Konzentrationen (Berglund et al. 1988, Rothweiler et al. 1992) und eine Verschlechterung der PAQ (Pejtersen et al. 1999) resultieren aus Renovierungen von Gebäuden.
- Höhere CO₂-Konzentrationen sind mit einer Verschlechterung der PAQ assoziiert (Chen et al. 1990, Fitzner und Finke 1996, Wargocki 2004).

Lufttemperatur und Luftfeuchte

- Hohe Luftfeuchten und Lufttemperaturen sind mit höheren TVOC-Konzentrationen (Globes et al. 1992, Bluysen et al. 1996a, Wolkoff 1996), schlechter PAQ (Fang et al. 1996, Toftum et al. 1998, Fang et al. 1998a+b, Fang et al. 2004) und niedrigeren Partikelkonzentrationen (Schramek et al. 2003) verbunden.

Reinigung

- Partikelkonzentrationen werden je nach Größe durch Reinigungsmaßnahmen reduziert (Pesonen- Leionen et al. 2004) oder erhöht (Lefcoe und Inculet 1975, Schneider et al. 1994, Thatcher und Layton 1995, Luoma und Battermann 2001, Blondeau et al. 2005). Zudem sind Reinigungen mit höheren TVOC-Konzentrationen verbunden (Wolkoff et al. 1995, Wolkoff et al. 1998).

Pflanzen

- Pflanzen im Raum wirken risikomindernd auf höhere Partikelkonzentrationen (Lohr und Pearson-Mims 1996, Bake und Moriske 2006).

Vliesfaktor und Regalfaktor

- Ein großer Vliesfaktor ist mit höheren Partikelkonzentrationen assoziiert (Skov et al. 1990).
- Ein großer Regalfaktor ist mit höheren Partikelkonzentrationen verbunden (Skov et al. 1990).

Darstellung des Zusammenhanges zwischen Haupteinflüssen und Zielvariablen

Tabelle 5: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Haupteinflussgrößen und Zielvariablen CO₂, PAQ, TVOC, Partikel anhand der Literatur

Einflussgrößen		CO ₂	PAQ	TVOC	Partikel
Klimaanlagen		↓	↑	↓	↓
Quelllüftungssysteme/Boden-Decke-Systeme		↓		↓	
Schlechte Wartung		↑	↓	↑	↑
Nutzer / Aktivitäten		↑	↓	↑	↑
kleines Raumvolumen		↑			
PC - Arbeit		↓	↓	↑	↑
Hohe Außenpartikelkonzentration					↑
Emissionslasten			↓	↑	↑
Hohe Temperatur			↓	↑	
Hohe Luftfeuchte			↓	↑	
Reinigung				↑	↕
Pflanzen					↓
Großer Vliesfaktor					↑
Großer Regalfaktor					↑

4.2. Methodik der Auswertung und statistische Verfahren

Die vorliegenden Analysen der Daten aus dem ProKlimA-Projekt erfolgt mit Hilfe des statistischen Programmes SPSS Version 15. Den Auswertungen liegen die Untersuchungsergebnissen der zum MZP2 definierten Messpunkte zu Grunde. Dabei wird ein auf Messpunktebene bezogener Datensatz erstellt. Folglich müssen probandenbezogene Angaben (z.B. arbeitswissenschaftliche Daten) für einen Messpunkt gemittelt werden, wenn mehrere Probanden an einem Messpunkt arbeiteten. Der Gesamtdatensatz umfasst 601 Messpunkten. Bei der Zielgröße TVOC muss mit 556 Messpunkten gearbeitet werden, da das Gebäude 3, aufgrund fehlender TVOC-Messwerte, aus dem Gesamtdatensatz genommen wurde.

4.2.1. Deskriptive Statistik

Mit der als erstes durchgeführten deskriptiven Statistik werden Eigenschaften der Merkmale in einer Stichprobe zu einem bestimmten Zeitpunkt beschrieben. In dieser Arbeit werden die Zielgrößen hinsichtlich potentieller Einflüsse aus dem Innenraum untersucht. Bei den Partikeln erfolgt repräsentativ die Auswahl der Partikelgrößen $\geq 0,5 \mu\text{m}$; $\geq 2,0 \mu\text{m}$ und $\geq 10,0 \mu\text{m}$ aus acht verschiedenen Größenklassen. Dabei ist zu beachten, dass die Angabe der Messwerte (Teilchen pro Liter) kumulativ ist, d.h. in den jeweils höheren Klassen sind die Werte der darunter liegenden Klassen mit enthalten.

Zur besseren statistischen Auswertung werden meist dichotome oder kategoriale Variablen eingesetzt. Dabei bewegen sich die gemessenen Raumvariablen im Durchschnitt in einem niedrigen bis moderaten Bereich und erreichen keine gesetzlich festgeschriebenen Grenzwerte. Um statistisch praktikable Gruppen zu erreichen, wurde eine Trennung am 75. % Perzentil vorgenommen. Bei der Variable „Raumvolumen“ erfolgt zusätzlich eine Trennung am 25. % Perzentil. Das Ziel ist die Untersuchung von hohen Konzentrationen der ausgewählten Determinanten. Eine Trennung am 90. % Perzentil, wie sie durch die ProKlimA - Projektgruppe in ihren Auswertungen vorgenommen wurde, erweist sich ungünstig, da zu wenig Fallzahlen für eine praktikable statistische Auswertung auf Messpunktebene zur Verfügung standen. In Tb 6 sind die Trennwerte der Einflussgrößen und Zielgrößen nach der „Gesamtheit der Büros“ und „klimatisierten“ bzw. „natürlich belüfteten“ Büroräumen dargestellt.

Bei den kategorialen und ordinalen Variablen werden Gruppen zusammengefasst. Tb 7 zeigt die abgeänderten kategorialen und ordinalen Variablen. Unveränderte Variablen werden nicht aufgeführt.

Tabelle 6: Tabellarische Angabe der am 75. % Perzentil getrennten Einflussgrößen für die „Gesamtheit der Büros“, „klimatisierte“ und „natürlich belüftete“ Büroräume. Zudem sind die Cut-Points für die Variable Gebäudealter und der zusätzlich am 25. % Perzentil getrennten Variable Raumvolumen angegeben.

Einflussgröße	Ausprägung	Gesamtheit der Büros	Klimatisiert	Natürlich belüftet
CO ₂ -Konzentration in ppm	niedrig	< 760	< 550	< 920
	hoch	≥ 760	≥ 550	≥ 920
PAQ	gut	< 8	< 5	< 7
in decipol	schlecht	≥ 8	≥ 5	≥ 7
TVOC-Konzentration	niedrig	< 435	< 356	< 559
in µg/m ³	hoch	≥ 435	≥ 356	≥ 559
Innenraumpartikelkonzentration > 0,5 µm in /l	niedrig	< 2433	< 1575	< 2936
	hoch	≥ 2433	≥ 1575	≥ 2936
Innenraumpartikelkonzentration > 2,0 µm in /l	niedrig	< 315	< 222	< 401
	hoch	≥ 315	≥ 222	≥ 401
Innenraumpartikelkonzentration > 10,0 µm in /l	niedrig	< 5	< 4	< 6
	hoch	≥ 5	≥ 4	≥ 6
Metabolismus	niedrig	< 89	< 89	< 89
in W/m ²	hoch	≥ 89	≥ 89	≥ 89
Raumvolumen	niedrig	≤ 29	≤ 31	≤ 28
in m ³ /Person	mittel	> 29 bis < 49	> 31 bis < 53	< 28 bis < 41
	hoch	≥ 49	≥ 53	≥ 41
Bakterienkonzentration	niedrig	< 210	< 200	< 230
in CFU/m ³	hoch	≥ 210	≥ 200	≥ 230
Pilzkonzentration	niedrig	< 100	< 80	< 100
in CFU/m ³	hoch	≥ 100	≥ 80	≥ 100
Ozonkonzentration	niedrig	< 0,011		
in ppm	hoch	≥ 0,011		
Lufttemperatur	niedrig	< 24	< 25	< 23
in °C	hoch	≥ 24	≥ 25	≥ 23
Luftfeuchte	niedrig	< 50	< 55	< 38
in %	hoch	≥ 50	≥ 55	≥ 38
CO ₂ -Außenkonzentration	niedrig	< 363		
in ppm	Hoch	< 363		

Fortsetzung Tabelle 6

Einflussgröße	Ausprägung	Gesamtheit der Büros	Klimatisiert	Natürlich belüftet
Außenpartikelkonzentration >0,5 µm in /l	niedrig	< 4330	< 4330	< 3808
	hoch	≥ 4330	≥ 4330	≥ 3808
Außenpartikelkonzentration >2,0 µm in /l	niedrig	< 335	< 196	< 320
	hoch	≥ 335	≥ 196	≥ 320
Außenpartikelkonzentration >10,0 µm in /l	niedrig	< 1	< 1	< 3
	hoch	≥ 1	≥ 1	≥ 3
Außen PAQ in decipol	gut	< 2		
	schlecht	≥ 2		
TVOC-Außenkonzentration in µg/m ³	niedrig	< 95		
	hoch	≥ 95		
Vliesfaktor in %	klein	< 37	< 37	< 37
	groß	≥ 37	≥ 37	≥ 37
Vliesfaktor TVOC in %	klein	< 37	< 38	< 37
	groß	≥ 37	≥ 38	≥ 37
Regalfaktor in %	klein	< 5	< 4	< 6
	groß	≥ 5	≥ 4	≥ 6

Tabelle 7: Tabellarische Darstellung von veränderten ordinalen und kategorialen Einflussgrößen

Einflussgröße	Ausprägung
Jahreszeit	<ul style="list-style-type: none"> • $< 1^{\circ}\text{C}$ = kalte Jahreszeit • $\geq 1^{\circ}\text{C}$ = warme Jahreszeit
Datum der Untersuchung	<ul style="list-style-type: none"> • 21. März - 21. Juni => Frühling • 21. Juni – 23. September => Sommer • 23. September - 22. Dezember => Herbst • 21. Dezember - 21. März => Winter
Zeitspanne der letzten Renovierung:	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Jahre • 3 Jahre • 4 - 7 Jahre • über 20 Jahre
Lage des Gebäudes	<ul style="list-style-type: none"> • Großstadt • Großstadtvorstadt/Land • Kleinstadt
Wartungszustand des Anlagenergebniss	<ul style="list-style-type: none"> • $\leq 2,2$ = gut • $> 2,2$ = schlecht
Beurteilung Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • 2 = gut • 3 und 4 = schlecht
Luftführung im Raum	<ul style="list-style-type: none"> • Decke - Decke • Boden - Decke/Quelllüftung • Brüstung/Induktion
Zeitpunkt des letzten Filteraustausches	<ul style="list-style-type: none"> • 0 Jahre • 1 Jahr • mehr als 2 Jahre
Baujahr der Anlage	<ul style="list-style-type: none"> • 1970 - 1979 (alte Anlagen) • 1980 - 1989 (mittleres Anlagenalter) • 1990 - 1996 (neue Anlagen)
Mittlerer Luftwechsel	<ul style="list-style-type: none"> • 0 bis < 1 = kleiner 1 Luftwechsel pro h • ≥ 1 bis < 2 = kleiner 2 Luftwechsel pro h • ≥ 2 bis < 3 = kleiner 3 Luftwechsel pro h • ≥ 3 bis 11 = 3 bis 11 Luftwechsel pro h
Bildschirmarbeitszeit	<ul style="list-style-type: none"> • ≥ 0 bis < 2 h = 1 (niedrig) • ≥ 2 bis < 4 h = 2 (mittel) • ≥ 4 bis < 6 h = 3 (hoch)
In näherer Umgebung geraucht?	<ul style="list-style-type: none"> • < 2 wurde potentiell in der näheren Umgebung geraucht • = 2 wurde in näherer Umgebung geraucht
Material Möbel	<ul style="list-style-type: none"> • 1 = Holz und Metall • 2 = furnierte Spanplatte

Die Deskription wird nach einem einheitlichen Schema aufgebaut (vergleiche (vgl) Tb 19 bis 24 im Anhang). In der ersten Spalte stehen als Einflussgrößen die gebäude- , gebäudeteil- , anlagen- , raum- , personen- und arbeitsplatzspezifischen Einflussgrößen. In der zweiten Spalte sind ihre jeweiligen Ausprägungen. Diese Ausprägungen sind entweder vorgegeben oder wurden durch Trennung am 75. % bzw. zusätzlich am 25. % Percentil neu gebildet. In der nächsten mit „n“ bezeichneten Spalte findet sich die Gesamtzahl der Fälle, für die ein Messwert vorliegt. Dann folgt spaltenweise die Angabe des Mittelwertes, der Standardabweichung, des Medians und des 75. % bzw. 90. % Percentil des interessierenden Messwertes (z.B. CO₂). Die vorletzte Spalte spiegelt den Anteil der Messpunkte über dem Cut-Point 75'er Percentil in der jeweiligen Ausprägung der Einflussgröße wider. In der letzten Spalte wird der Nachweis von Signifikanzen (p) durch nichtparametrische Tests angegeben. Dabei wird für dichotome Variablen der „U-Test nach Mann und Whitney“ und für kategoriale Variablen der „H-Test nach Kruskal und Wallis“ ausgewählt. Mit dem Signifikanztest wird entschieden, ob die Nullhypothese beibehalten oder verworfen wird und dann die Alternativhypothese angenommen wird. Zudem wird bestimmt, wie groß die Fehlerwahrscheinlichkeit p für das zufällige Zustandekommen der gefundenen Zusammenhänge oder Unterschiede unter Annahme der Nullhypothese ist. Liegt die berechnete Wahrscheinlichkeit unterhalb einer zuvor festgelegten Schranke (Signifikanzniveau), dann wird die Nullhypothese verworfen. Es erfolgt eine Entscheidung für die Alternativhypothese. Das Signifikanzniveau α wird in der vorliegenden Arbeit mit 5 % festgelegt.

4.2.2. Univariate und multiple logistische Regression

Um den Einfluss ausgewählter gebäude- , gebäudeteil- , raum- , messpunkt- und personen- bzw. arbeitsplatzbezogener Größen auf die Innenraumvariablen CO₂, PAQ, TVOC und Partikel zu quantifizieren, wird die Einfluss-Wirkungs-Beziehungen sowohl univariat als auch multivariat mit Hilfe logistischer Regressionsmodelle im Einschlussverfahren berechnet. Die logistische Regression ermöglicht es, intervallskalierte, ordinale und nominale Einflussgrößen dichotomen Zielgrößen gegenüberzustellen. Dabei wird für die einzelnen Ausprägungen der verschiedenen potentiellen Einflussfaktoren das Risiko (die Chance) berechnet, zu den 25 % Messpunkten der höchsten Exposition an CO₂, PAQ, TVOC und Partikel zu gehören. Das Odds Ratio (OR) einer Einflussgröße ist der transformierte Regressionskoeffizient dieser Einflussgröße im logistischen Modell. Dabei beschreibt das OR das Verhältnis zweier Odds (Chancen) zueinander. Das OR kann Werte zwischen Null

und ∞ annehmen. Ergibt das OR einen Wert von 1, gibt es keinen Unterschied zwischen beiden Gruppen. Liegt das Ergebnis allerdings über bzw. unter 1, ist die Chance für ein Ereignis in einer Gruppe höher bzw. niedriger. Für das OR, das selbst ein geschätzter Wert ist, werden 95 % Vertrauensintervalle, die sogenannten Konfidenzintervalle (CI), angegeben. Sie geben den Bereich an, in dem der wahre Wert mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit liegt. Nicht signifikant sind diejenigen OR, die in ihrem Vertrauensintervall den Wert 1 einschließen (Hellwig 2005, Weiß 2005).

Im ersten Schritt wird für das jeweilige Modell der Zusammenhang einer Einflussgröße auf jede Zielgröße separat getestet und jeweils ein OR berechnet (univariate Analyse bzw. bivariates logistisches Regressionsmodell). Mit den Ergebnissen der bivariaten Modelle werden die Variablen als Einflussgrößen ausgewählt, die im sogenannten Likelihood-Ratio-Test Wahrscheinlichkeiten von $p < 0,25$ erreichen. Alle mit diesem Test ausgewählten Größen werden in ein gemeinsames multiples logistisches Modell aufgenommen. Danach werden alle Variablen einzeln aus dem Modell herausgenommen und das jeweils um eine Variable reduzierte Modell mit dem ersten Modell verglichen. Dies erfolgt mit dem Likelihood-Quotienten-Test auf einem Signifikanzniveau von 10 % Irrtumswahrscheinlichkeit. Auf diese Weise können alle wichtigen Variablen herausgefunden und in ein zweites Modell aufgenommen, welches abhängig von der Modellgüte schon das Endmodell sein kann (Hellwig 2005).

Mit der Prüfung der Modellgüte eines logistischen Modells insgesamt soll die Frage beantwortet werden, wie gut die in das Modell aufgenommenen Einflussgrößen zu einer guten Vorhersage der Ausprägungen der Zielgröße beitragen. Dazu wird auf das Gütekriterien Hosmer-Lemeshow-Test zurückgegriffen. Mit dem χ^2 -Test des Hosmer-Lemeshow-Tests wird überprüft, inwieweit sich die beobachteten und erwarteten Häufigkeiten in den Gruppen unterscheiden. Allerdings ist hier die Wunschhypothese die Nullhypothese (keine Unterschiede zwischen Beobachtung und Vorhersage). Der Test sichert gegen eine falsche Annahme der Alternativhypothese ab (Hellwig 2005). In dieser vorliegenden Arbeit wird als Gütekriterium der Hosmer-Lemeshow-Test mit einem Signifikanzniveau von 5 % angewendet.

In der vorliegenden Arbeit wird für jede dichotome Zielgröße jeweils drei Modelle gerechnet. Das erste Modell wird mit dem Gesamtdatensatz für die Gesamtheit der Büroräume (= multivariates Modell) berechnet, das zweite und dritte nach Reduktion des Gesamtdaten-

satzes durch die Variable Klima für ausschließlich klimatisierte Büroräume und natürlich belüftete Büroräume. Ziel dieser Untersuchung ist das Herauskrystallisieren verschiedener Wirkungen der Einflussgrößen auf die jeweiligen Zielgrößen in verschiedenen Belüftungsmodi. Aufgrund der günstigen Datenlage kann zudem für die Variable TVOC ein Modell gerechnet werden, in dem raumluftechnische Faktoren untersucht wurden. Bei den Modellen werden weder Variablen, die mehr als 20 % fehlende Fälle aufwiesen (also < 450 Messwerte), noch Variablen, die in einer Kategorie zu wenig Fallzahlen enthalten, einbezogen. Anlagenbezogene Variablen, mit Ausnahme des Modells für TVOC, entfallen. Variablen, die in der Deskription keine Signifikanz durch die angewendeten Tests (Kruskal-Wallis-Test, U-Test nach Mann und Whitney) aufweisen aber theoretisch potentielle Einflüsse für die Zielgrößen darstellen, werden zunächst in die Berechnung einbezogen.

In den univariaten und multivariaten Tabellen wird jeweils das OR mit dem zugehörigen 95. CI und dem Signifikanzwert p für die einzeln aufgenommenen Variablen dargestellt. Signifikante OR ($p < 0,05$) werden fett, tendenzielle OR ($p < 0,1$) kursiv gedruckt. Zudem wird der Chi²-Test des Hosmer-Lemeshow-Tests am Ende der jeweiligen Tabelle angegeben.

Auf folgende Besonderheiten in der deskriptiven Beschreibung und den multivariaten Modellen soll an dieser Stelle hingewiesen werden:

- Bei den verschiedenen Partikelgrößen werden die jeweiligen univariaten Modelle und multivariaten Modelle gegenübergestellt, um eine bessere Vergleichbarkeit hinsichtlich der Wirkung gleicher Einflussgrößen auf veränderte Partikelgrößen zu erreichen.
- Die Variable Raumbenennung muss in einigen Modellen dichotomisiert werden, da eine Ausprägung zu wenig Fälle aufweist, wodurch keine statistischen Auswertungen möglich sind. Das betrifft die Modelle PAQ in natürlich belüfteten Räumen, TVOC in klimatisierten oder natürlich belüfteten Räumen und Partikel > 10,0 µm in natürlich belüfteten Räumen.
- Das natürlich belüftete Modell für die PAQ weist laut dem Test nach Hosmer-Lemeshow eine unzureichende Modellgüte auf. Die fehlende Modellgüte wird akzeptiert, da der Vergleich zwischen den Modellen bedeutsam ist.
- In den TVOC - Modellen werden sowohl die „Lufttemperatur“ als auch die „Luftfeuchte“ metrisch ins Modell aufgenommen. Die Messwerte für die Variable Luftfeuchte wurden in den TVOC - Modellen durch 10 geteilt, um Veränderungen pro

10 % Luftfeuchteerhöhung sichtbar zu machen.

5. Ergebnisse

5.1. Kohlendioxid

Die Bezugsgröße stellt die über dem 75. Percentil liegende CO₂-Konzentration dar, welche nachfolgend als „hohe CO₂-Konzentration“ bezeichnet wird. Die sich anschließenden Auswertungen beziehen sich auf die Tb 19, 8 und 9.

Deskriptiv kann in der Tb 19 (im Anhang) gezeigt werden, dass die mittleren CO₂-Konzentrationen signifikant erhöht sind für CO₂-Außenkonzentrationen unter 363 ppm, die kalte Jahreszeit bzw. den Winter, die Kleinstadt, einen mittleren Luftwechsel weniger als 1, 2 bis 4-Mann-Büros, 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit und ein Raumvolumen unter 29 m³/Person. Des Weiteren zeigt sich, dass die mittleren CO₂-Konzentrationen signifikant verringert sind für Vollklimaanlagen, Quellschlüftungssysteme, Decke-Decke-Systeme, 2-Kanal Anlagen, schlecht gewartete und beurteilte Anlagen und mangelhaft gewartete bzw. beanstandete Außenluftansaugungen.

In der multivariaten und deskriptiven Auswertung für die Gesamtheit der Büroräume (Tb 19, Tb 8) zeigt sich keine Klimatisierung als die relevante Variable für CO₂-Konzentrationen über 760 ppm. Die Chance auf höhere Konzentrationen steigt dabei um das 13-fache (OR: 13,18; CI: 7,15 - 24,29). Des Weiteren steigt bei 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeit (OR: 2,16; CI: 1,26 - 3,69) das Risiko für höhere CO₂-Konzentrationen (≥ 760 ppm) vom 2,2-fachen im Modell für die Gesamtheit der Büros auf das 7,6-fache in ausschließlich klimatisierten Räumen (OR: 7,61; CI: 3,26 - 17,79) (Tb 9). In klimatisierten Büros wird zudem ein positiver Zusammenhang zwischen 2 bis 4-Mann-Büros (OR: 2,68; CI: 1,35 - 5,34), einem Metabolismus über 89 W/m² (OR: 2,03; CI: 1,02 - 4,02), Raumvolumina kleiner 31 m³/Person (OR: 6,04; CI: 2,19 - 16,70) und höheren CO₂-Konzentrationen (≥ 550 ppm) abgelesen. Demgegenüber sind in natürlich belüfteten Räumen (Tb 9) lediglich das Vorhandensein von Raumvolumina zwischen 28 m³/Person und 41 m³/Person (OR: 2,04; CI: 0,96 - 4,36) tendenziell mit höheren CO₂-Konzentrationen (≥ 920 ppm) verbunden.

Tabelle 8: Einflüsse auf eine CO₂-Belastung ≥ 760 ppm in Büroräumen im uni- und multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Univariat $\geq C_CO2K75$			Multivariat $\geq C_CO2K75$		
		OR	CI	p	OR	CI	p
Klimaanlage	Nein	13,52	8,06-22,69	0,000	13,18	7,15-24,29	0,000
	Ja	1			1		
Bürotyp	Großraumbüro	1			1		
	2 - 4-Mann-Büro	3,51	2,03-6,08	0,000	1,38	0,68-2,79	0,375
	Einzelplatzbüro	1,08	0,42-2,75	0,879	0,71	0,23-2,19	0,550
Bildschirmarbeitszeit	0 - 2 h	1			1		
	2 - 4 h	1,22	0,71-2,08	0,473	1,32	0,72-2,42	0,375
	4 - 6 h	1,86	1,19-2,90	0,007	2,16	1,26-3,69	0,005
Metabolismus	Niedrig	1			1		
	Hoch	<i>1,45</i>	<i>0,99-2,12</i>	<i>0,057</i>	0,96	0,59-1,55	0,869
Raumvolumen je Person	Niedrig	<i>2,40</i>	<i>0,93-6,19</i>	<i>0,069</i>	1,66	0,48-5,70	0,420
	Mittel	<i>1,97</i>	<i>0,94-4,11</i>	<i>0,072</i>	0,86	0,33-2,24	0,753
	Groß	1			1		
Hosmere Lemeshow Test: $\chi^2 = 13,582$; $p = 0,093$							

Tabelle 9: Einflüsse auf eine CO₂-Belastung ≥ 550 ppm in klimatisierten Büroräumen und ≥ 920 ppm in natürlich belüfteten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Klimatisiert Multivariat $\geq C_CO2K75$			Natürlich belüftet Multivariat $\geq C_CO2K75$		
		OR	CI	p	OR	CI	p
Bürotyp	Großraumbüro	1			1		
	2 - 4-Mann-Büro	2,68	1,35-5,34	0,005	3,38	0,72-15,82	0,122
	Einzelplatzbüro	2,26	0,59-8,64	0,235	3,27	0,50-21,14	0,214
Bildschirmarbeitszeit	0 - 2 h	1			1		
	2 - 4 h	2,17	0,79-5,93	0,132	1,54	0,75-3,16	0,242
	4 - 6 h	7,61	3,26-17,79	0,000	1,32	0,68-2,56	0,406
Metabolismus	Niedrig	1			1		
	Hoch	2,03	1,02-4,02	0,043	0,87	0,48-1,57	0,647
Raumvolumen je Person	Niedrig	6,04	2,19-16,70	0,001	1,88	0,80-4,42	0,149
	Mittel	1,03	0,44-2,43	0,940	<i>2,04</i>	<i>0,96-4,36</i>	<i>0,065</i>
	Groß	1			1		
Hosmere Lemeshow Test: Klimatisiert: $\chi^2 = 4,784$; $p = 0,780$ Natürlich belüftet: $\chi^2 = 13,393$; $p = 0,099$							

5.2. Empfundene Luftqualität

Die Bezugsgröße ist hierbei die PAQ, die über dem 75. Percentil liegt und im folgenden Textverlauf mit der Bezeichnung „schlechte Luft“ umschrieben wird. Die nachfolgenden

Aussagen beziehen sich auf die Tb 20, 10 und 11.

Die Tb 20 (im Anhang) zeigt, dass die mittlere PAQ signifikant verschlechtert ist für schlechte Außenluftqualitäten, die kalte Jahreszeit bzw. den Winter, 4 bis 7 Jahre zurückliegende Renovierungen, eine Reinigung aller 2 Tage, TVOC-Konzentrationen über 435 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO_2 -Konzentrationen über 760 ppm, mittlere Partikelkonzentrationen über 315 /l, Bakterienkonzentrationen über 210 CFU, weniger als 1 Luftwechsel pro Stunde, 2 bis 4-Mann-Büros, potentiell Rauchen, einen Vliesfaktor unter 37 %, Lufttemperaturen unter 24 °C und Luftfeuchten unter 50 %.

Aus der Tb 20 wird zudem ersichtlich, dass die mittlere PAQ signifikant verbessert ist für Klimaanlage bzw. Teilklimaanlagen, Mischlüftung, Induktionslüftung, 2-Kanal Anlagen, über zwei Jahre alte Filter, eine schlechte Beurteilung der Klimaanlage und ein mangelhafter Wartungszustand des Befeuchters bzw. des Filters.

Multivariat (Tb 10) kann im Modell für die Gesamtheit der Büroräume abgelesen werden, dass auch hier die Variable Klima den stärksten Einfluss besitzt. Das Fehlen von Klimaanlage steigert das Risiko für schlechte Luft (OR: 9,04; CI: 4,22 - 19,37). Weiterhin sind Bakterienkonzentrationen über 210 CFU/ m^3 (OR: 2,15; CI: 1,27 - 3,64), 2 bis 4-Mann-Büros (OR: 3,77; CI: 1,71 - 8,32) bzw. Einzelplatzbüros (OR: 4,02; CI: 1,33 - 12,19) und Rauchen in näherer Umgebung (OR: 2,04; CI: 1,27 - 3,26) signifikant mit schlechter Luft (≥ 8 decipol) verbunden. Dabei wird deutlich, dass sich der Einfluss der 2 bis 4-Mann-Büros im Vergleich zum univariaten Modell (OR: 8,90; CI: 4,54 - 17,46) abschwächt. Variablen mit einer negativen Wirkrichtung, welche eine verminderte Wahrscheinlichkeit von schlechter Luft vorhersagen, sind signifikant eine Reinigung aller 2 Tage (OR: 0,33; CI: 0,19 - 0,58) und tendenziell 2 bis 4 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 0,55; CI: 0,30 - 1,02). Ferner ist ein tendenzieller Zusammenhang zwischen CO_2 -Konzentrationen über 760 ppm (OR: 1,69; CI: 0,98 - 2,94) und schlechter Luft (≥ 8 decipol) ablesbar. Dieser tendenzielle Zusammenhang kristallisiert sich auch in den Modellen für ausschließlich klimatisierte und natürlich belüftete Büroräume heraus (Tb 11). Dabei korrelieren CO_2 -Konzentrationen über 920 ppm bzw. über 550 ppm tendenziell mit schlechter Luft in natürlich belüfteten (OR: 1,89; CI: 0,93 - 3,84) bzw. klimatisierten Räumen (OR: 2,68; CI: 0,93 - 7,69).

Überdies sind in klimatisierten Büroräumen hohe Konzentrationen der Partikel $> 2,0 \mu\text{m}$ (≥ 222 /l) (OR: 2,39; CI: 1,24 - 4,63), ein Vliesfaktor unter 37 % (OR: 4,82; CI: 1,90 - 12,2

2) signifikant und höhere Pilzkonzentrationen über 80 CFU/m³ (OR: 1,98, CI: 0,90 - 4,39) tendenziell mit schlechter Luft (≥ 5 decipol) assoziiert. Eine Reinigung aller 2 Tage (OR: 0,18; CI: 0,05 - 0,59) wirkt, wie schon im Modell für die Gesamtheit der Büroräume, signifikant protektiv.

In natürlich belüfteten Räumen steigt bei Pilzkonzentrationen über 100 CFU/m³ (OR: 2,11; CI: 1,00 - 4,44) und Luftfeuchten unter 55 % (OR: 4,17; CI: 1,78 - 9,78) signifikant das Risiko für schlechte Luft (≥ 7 decipol), bei Lufttemperaturen unter 25 °C (OR: 2,17; CI: 0,93 - 5,09) tendenziell. War Rauchen in näherer Umgebung im Modell für die Gesamtheit der Büroräume noch ein signifikanter Risikofaktor, schwächt sich dieser Einfluss in natürlich belüfteten Büros ab. Hier korreliert Rauchen in näherer Umgebung (OR: 1,76; CI: 0,94 - 3,30) lediglich tendenziell mit schlechter Luft im Innenraum (≥ 7 decipol). Ferner sind bei 2 bis 4 Stunden geleisteter Bildschirmarbeitszeit (OR: 0,28; CI: 0,11 - 0,71) geringere Decipolwerte ablesbar (< 7 decipol). Dieses Ergebnis hatte sich schon tendenziell im Gesamtmodell (Tb 10) angedeutet.

Tabelle 10: Einflüsse auf eine C_DPOL-Belastung ≥ 8 decipol in Büroräumen im uni- und multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Univariat $\geq C_DPOL75$			Multivariat $\geq C_DPOL75$		
		OR	CI	p	OR	CI	p
Klimaanlage	Nein Ja	6,99 1	4,68-10,45	0,000	9,04 1	4,22-19,37	0,000
Kohlendioxid Konzentration	Niedrig Hoch	1 3,52	2,39-5,18	0,000	1 <i>1,69</i>	<i>0,98-2,94</i>	<i>0,061</i>
Partikel Konzentration $> 2,0 \mu m$	Niedrig Hoch	1 2,49	1,70-3,66	0,000	1 0,98	0,55-1,75	0,949
Bakterien Raumluf	Niedrig Hoch	1 1,50	1,03-2,20	0,036	1 2,15	1,27-3,64	0,004
Pilze Raumluf	Niedrig Hoch	1 1,05	0,71-1,56	0,796	1 1,13	0,67-1,89	0,656
Bürotyp	Großraumbüro	1			1		
	2 - 4-Mann-Büro	8,90	4,54-17,46	0,000	3,77	1,71-8,32	0,001
	Einzelplatzbüro	4,70	1,94-11,41	0,001	4,02	1,33-12,19	0,014
Raumvolumen je Person	Niedrig	2,17	1,29-3,64	0,003	1,16	0,33-4,07	0,820
	Mittel	1,67	1,05-2,64	0,029	0,79	0,33-1,90	0,603
	Groß	1			1		
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht Nicht geraucht	1,43 1	1,01-2,03	0,043	2,04 1	1,27-3,26	0,003
Vliesfaktor	Klein Groß	2,50 1	1,75-3,56	0,000	1,30 1	0,79-2,14	0,295
Bildschirmarbeitszeit	0 - 2 h	1			1		
	2 - 4 h	<i>0,67</i>	<i>0,42-1,08</i>	<i>0,098</i>	<i>0,55</i>	<i>0,30-1,02</i>	<i>0,059</i>
	4 - 6 h	<i>0,71</i>	<i>0,47-1,05</i>	<i>0,088</i>	0,75	0,43-1,31	0,304
Lufttemperatur	Niedrig Hoch	2,71 1	1,68-4,38	0,000	0,97 1	0,46-2,02	0,929
Luftfeuchte	Niedrig Hoch	4,14 1	2,46-6,96	0,000	1,37 1	0,60-3,16	0,454
Reinigungsintervall	Täglich	1			1		
	Aller 2 Tage	1,20	0,85-1,69	0,309	0,33	0,19-0,58	0,000
Hosmere Lemeshow Test: $\chi^2 = 11,342$, $p = 0,183$							

Tabelle 11: Einflüsse auf eine C_DPOL-Belastung $\geq 4,9$ decipol in klimatisierten Büroräumen und $\geq 7,1$ decipol in natürlich belüfteten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Klimatisiert $\geq C_DPOL75$			Natürlich belüftet $\geq C_DPOL75$	
		OR	CI	p	OR	CI
Kohlendioxid Konzentration	Niedrig Hoch	1 2,68	0,93-7,69	0,067	1 1,89	0,93-3,84
Partikel Konzentration $> 2,0 \mu m$	Niedrig Hoch	1 2,39	1,24-4,63	0,009	1 1,12	0,52-2,40
Bakterien Raumluf	Niedrig Hoch	1 1,47	0,70-3,07	0,307	1 1,23	0,58-2,60
Pilze Raumluf	Niedrig Hoch	1 1,98	0,90-4,39	0,091	1 2,11	1,00-4,44
Bürotyp	Großraumbüro	1			X	
	2 - 4-Mann-Büro	1,13	0,55-2,32	0,741	1	
	Einzelplatzbüro	2,38	0,65-8,67	0,190	1,78	0,49-6,43
Raumvolumen je Person	Niedrig	1,06	0,34-3,33	0,925	2,17	0,84-5,59
	Mittel	1,21	0,49-3,01	0,679	1,55	0,68-3,51
	Groß	1			1	
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	1,35	0,71-2,59	0,364	1,76	0,94-3,30
	Nicht geraucht	1			1	
Vliesfaktor	Klein	4,82	1,90-12,22	0,001	1,04	0,48-2,24
	Groß	1			1	
Bildschirmarbeitszeit	0 - 2 h	1			1	
	2 - 4 h	1,73	0,67-4,48	0,257	0,28	0,11-0,71
	4 - 6 h	2,00	0,74-5,44	0,173	0,64	0,31-1,32
Lufttemperatur	Niedrig	1,20	0,46-3,13	0,714	2,17	0,93-5,09
	Hoch	1			1	
Luftfeuchte	Niedrig	1,00	0,39-2,54	0,999	4,17	1,78-9,78
	Hoch	1			1	
Reinigungsintervall	Täglich	1			1	
	Aller 2 Tage	0,18	0,05-0,59	0,005	1,29	0,61-2,69
Hosmere Lemeshow Test: klimatisiert: $\chi^2 = 5,549$, $p = 0,698$ natürlich belüftet: $\chi^2 = 16,704$, $p = 0,033$						

5.3. Volatile Organic Compounds

Die Bezugsgröße ist hierbei die über dem 75. Percentil liegende Summe flüchtiger organischer Substanzen, die nachfolgend als „hohe TVOC-Konzentration“ bezeichnet wird. Die Auswertungen beziehen sich auf die Tb 21, 12 und 13. Als Besonderheit wurde ein zusätzliches Modell für klimatisierte Büros gerechnet, in welchem raumluftechnische Einflüsse untersucht wurden (Tb 14).

Deskriptiv kann in Tb 21 (siehe Anhang) gezeigt werden, dass die mittleren TVOC-Konzentrationen signifikant erhöht sind für den Winter, 2 Jahre zurückliegende Renovierung, Reinigungen aller 2 Tage, das Großstadt - Zentrum, 2 bis 4-Mann-Büros, weniger als 3 Luftwechsel pro Stunde, furnierte Spanplatten, einen Vliesfaktor unter 37 %, Luftfeuchten unter 50 % und Lufttemperaturen unter 24 °C. .

Des Weiteren zeigt die Tb 21, dass die mittleren TVOC-Konzentrationen signifikant verringert sind für Teilklimaanlagen, Quelllüftungssysteme, 1-Kanal-Anlagen und eine gute Beurteilung der Klimaanlage.

Im multivariaten Modell für die Gesamtheit der Büros (Tb 12) besitzt die Ausprägung natürliche Belüftung (OR: 2,62; CI: 1,28 - 5,33) die stärkste Aussagekraft für höhere TVOC-Konzentrationen ($\geq 435 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Variablen, die im Gesamtmodell protektiv wirken, sind 2 bis 4 Stunden (OR: 0,41; CI: 0,23 - 0,74) bzw. 4 bis 6 Stunden (OR: 0,27; CI: 0,16 - 0,46) Bildschirmarbeitszeit. Allerdings verliert sich diese Wirkung nach Spezifizierung der Modelle auf klimatisierte bzw. natürlich belüfteten Räume (Tb 13). Tendenzielle Einflüsse sind im Modell für die Gesamtheit der Büros eine Reinigungen aller 2 Tage (OR: 1,57; CI: 0,96 - 2,55) und ein Vliesfaktor unter 37 % (OR: 1,61; CI: 1,00 - 2,61)

Als signifikanter gemeinsamer Risikofaktor hebt sich im Modell für die Gesamtheit der Büros und im klimatisierten Modell die Lufttemperatur hervor. Im Modell für die Gesamtheit der Büroräume (Tb 12) ist eine Temperaturerhöhung um 1 °C (OR: 1,47; CI: 1,19 - 1,81) mit einem etwa 1,5-fach höheren Risiko für das Erreichen von TVOC-Konzentrationen $\geq 435 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verbunden. Im Modell für klimatisierte Büros unter Einschluss raumluftechnischer Variablen (Tb 14) steigt die Chance sogar um 70 % (OR: 1,70; CI: 1,09 - 2,66).

Das multivariate Modell für klimatisierte Büroräume (Tb 13) reduziert die Einflussgrößen auf einen Vliesfaktor unter 38 % (OR: 0,37; CI: 0,18 - 0,77) und eine Reinigung aller 2 Tage (OR: 0,29; CI: 0,13 - 0,66), welche signifikant mit niedrigeren TVOC-Konzentration ($< 356 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verbunden sind. In natürlich belüfteten Räumen (Tb 13) besitzen demgegenüber ein Vliesfaktor unter 37 % (OR: 17,81; CI: 6,33 - 50,08) und eine Reinigung aller 2 Tage (OR: 11,10; CI: 4,29 - 28,71) die signifikant größten Einflüsse auf TVOC-Konzentrationen über $356 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aus Tb 14 ist ablesbar, dass bei einer „schlechten Beurteilungsnote der Wartung“ (OR: 28,36; CI: 5,22 - 154,01) ein etwa 30-fach höheres Risiko für höhere TVOC-Konzentrationen ($\geq 356 \mu\text{g}/\text{m}^3$) existiert. Zudem sind Brüstungssysteme (OR: 5,44; CI: 1,10 - 26,98) signifikant und 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit tendenziell (OR: 2,32; CI: 0,87 - 6,18) mit höheren TVOC-Konzentration ($\geq 356 \mu\text{g}/\text{m}^3$) assoziiert.

Tabelle 12: Einflüsse auf eine TVOC-Belastung $\geq 434,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Büroräumen im uni- und multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Univariat $\geq C_TVOC375$			Multivariat $\geq C_TVOC375$		
		OR	CI	p	OR	CI	p
Reinigungsintervall	Täglich	1			1		
	Aller 2 Tage	1,92	1,29-2,87	0,001	<i>1,57</i>	<i>0,96-2,55</i>	<i>0,070</i>
Klimaanlage	Nein	3,05	2,01-4,62	0,000	2,62	1,28-5,33	0,008
	Ja	1			1		
Bürotyp	Großraumbüro	1			1		
	2 - 4-Mann-Büro	2,45	1,46-4,10	0,001	1,38	0,73-2,60	0,318
	Einzelplatzbüro	0,87	0,30-2,49	0,796	0,41	0,12-1,39	0,153
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	1			1		
	Nicht geraucht	1,04	0,70-1,53	0,865	1,08	0,69-1,67	0,747
Vliesfaktor	Klein	1,58	1,04-2,39	0,030	<i>1,61</i>	<i>1,00-2,61</i>	<i>0,051</i>
	Groß	1			1		
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	1			1		
	2 - 4 h	0,57	0,34-0,95	0,031	0,41	0,23-0,74	0,003
	4 - 6 h	0,44	0,28-0,68	0,000	0,27	0,16-0,46	0,000
Lufttemperatur	Metrisch	0,97	0,83-1,14	0,707	1,47	1,19-1,81	0,001
Luftfeuchte/10	Metrisch	0,73	0,62-0,85	0,000	0,92	0,72-1,18	0,504
Hosmere Lemeshow Test: $\chi^2 = 6,479$ $p = 0,594$							

Tabelle 13: Einflüsse auf eine TVOC-Belastung $\geq 356,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in klimatisierten Büroräumen und $\geq 559,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in natürlich belüfteten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Klimatisiert $\geq \text{C_TVOC375}$			Natürlich belüftet $\geq \text{C_TVOC375}$		
		OR	CI	p	OR	CI	p
Reinigungsintervall	Täglich Aller 2 Tage	1 0,29	0,13-0,66	0,003	1 11,10	4,29-28,71	0,000
Bürotyp	Großraumbüro	1			X		
	2 - 4-Mann-Büro	1,52	0,78-2,94	0,216	1,17	0,26-5,28	0,841
	Einzelplatzbüro	x			1		
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	1			1		
	Nicht geraucht	1,12	0,57-2,20	0,737	0,80	0,40-1,61	0,527
Vliesfaktor	Klein	0,37	0,18-0,77	0,007	17,81	6,33-50,08	0,000
	Groß	1			1		
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	1			1		
	2 - 4 h	0,89	0,36-2,24	0,812	0,70	0,27-1,83	0,465
	4 - 6 h	1,10	0,49-2,45	0,819	1,04	0,48-2,26	0,928
Lufttemperatur	Metrisch	1,00	0,71-1,40	0,986	1,30	0,93-1,82	0,129
Luftfeuchte/10	Metrisch	0,74	0,51-1,08	0,116	0,82	0,57-1,18	0,292
Hosmere Lemeshow Test: klimatisiert: $\text{Chi}^2 = 14,954$, $p = 0,060$ natürlich belüftet: $\text{Chi}^2 = 9,955$, $p = 0,268$							

Tabelle 14: Einflüsse auf eine TVOC-Belastung $\geq 356,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in klimatisierten Büroräumen unter Einschluss anlagenbezogener Variablen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Univariat $\geq \text{C_TVOC375}$			Multivariat $\geq \text{C_TVOC375}$		
		OR	CI	p	OR	CI	p
Reinigungsintervall	Täglich	1			1		
	Aller 2 Tage	0,31	0,16-0,61	0,001	0,78	0,26-2,40	0,667
Bürotyp	Großraumbüro	1			1		
	2 - 4-Mann-Büro	0,61	0,38-0,99	0,045	1,54	0,60-3,96	0,375
	Einzelplatzbüro	x			x		
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	1			1		
	Nicht geraucht	1,32	0,74-2,34	0,349	0,86	0,38-1,97	0,721
Vliesfaktor	Klein	0,38	0,201-0,70	0,002	0,78	0,30-1,99	0,596
	Groß	1			1		
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	1			1		
	2 - 4 h	0,919	0,442-1,909	0,820	2,13	0,64-7,14	0,219
	4 - 6 h	<i>0,568</i>	<i>0,292-1,108</i>	<i>0,097</i>	2,32	<i>0,87-6,18</i>	<i>0,093</i>
Lufttemperatur	Metrisch	1,19	0,90-1,58	0,228	1,70	1,09-2,66	0,020
Luftfeuchte/10	Metrisch	0,87	0,64-1,19	0,378	0,87	0,53-1,43	0,579
Luftführung im Raum	Decke - Decke	1			1		
	Boden - Decke	2,34	0,67-8,23	0,184	2,92	0,63-13,62	0,173
	/Quellluft						
	Induktion	9,57	2,72-33,64	0,000	5,44	1,10-26,98	0,038
Beurteilung der Wartung	Gut	1			1		
	Schlecht	35,37	8,43-148,46	0,000	28,36	5,22-154,01	0,000
Hosmer Lemeshow Test: $\text{Chi}^2 = 3,552$ $p = 0,895$							

5.4. Partikel > 0,5 µm, Partikel > 2,0 µm, Partikel > 10,0 µm

Als Bezugsgrößen wurden die Konzentrationen der Partikel > 0,5 µm, > 2,0 µm, > 10,0 µm ausgewählt, die über dem 75. Percentil liegen und mit der Bezeichnung „hohe Partikelkonzentration“ umschrieben werden. Im nachfolgenden Testverlauf werden Partikel > 0,5 µm als kleine Partikel, Partikel > 2,0 µm als mittlere und Partikel > 10,0 µm als große Partikel bezeichnet. Die sich anschließenden Auswertungen beziehen sich auf die Tb 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24.

5.4.1. Partikel > 0,5 µm

Die Tb 22 (im Anhang) zeigt, dass die mittleren Konzentrationen der kleinen Partikel signifikant erhöht sind für die kalte Jahreszeit bzw. den Herbst, Außenpartikelkonzentrationen über 4330/l, die Kleinstadt, Luftwechsel kleiner als 1 pro Stunde, 2 bis 4-Mann-Büros, potentiell Rauchen, keine Pflanzen, einen Vliesfaktor unter 37 %, einen Regalfaktor über 5 % und Luftfeuchten unter 50 %.

Zudem sind die mittleren Konzentrationen der kleinen Partikel signifikant verringert sind bei Klimaanlageanlagen und speziell Teilklimaanlagen, Boden-Decke-Systemen, Verdrängungslüftungen, 1-Kanal Anlagen, zwischen 1980 bis 1989 gebauten Klimaanlage und einem gutem Wartungszustand der Klimaanlageanlagen.

In der multivariaten Auswertung für die Gesamtheit der Büros (Tb 16) ist das Fehlen von Klimaanlageanlagen (OR: 20,98, CI: 8,91 - 49,44) der stärkste Prädiktor für höhere Partikelkonzentrationen (≥ 2433 /l). Dabei verstärkt sich der Einfluss der Klimatisierung im Vergleich zum univariaten Modell (OR: 5,04; CI: 3,33 - 7,64). Demgegenüber senken eine Reinigung aller 2 Tage (OR: 0,38; CI: 0,23 - 0,64) und Luftfeuchten unter 50 % (OR: 0,29; CI: 0,12 - 0,69) das Risiko für höhere Konzentrationen der kleinen Partikel (≥ 2433 /l). Diese Ergebnisse sind auch im Modell für klimatisierte Räume ablesbar (Tb 17). Hier sind eine alle 2 Tage stattfindende Reinigung (OR: 0,10; CI: 0,03 - 0,34) und Luftfeuchten unter 55 % (OR: 0,27; CI: 0,12 - 0,57) ebenfalls signifikant protektive Faktoren.

Des Weiteren kann im Modell für die Gesamtheit der Büroräume ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen höheren Außenpartikelkonzentrationen

(OR: 2,42; CI: 1,35 - 4,34) der kleinen Partikel (≥ 4330 /l) bzw. Rauchen (OR: 2,16; CI: 1,36 - 3,41) und höheren Konzentrationen der Innenraumpartikel (≥ 2433 /l) abgelesen werden. Beide Zusammenhänge kristallisieren sich auch im natürlich belüftete Modell heraus (Tb 18). Dabei besitzt die Variable Rauchen (OR: 7,21; CI: 3,48 - 14,95) den größten Einfluss auf höhere Konzentrationen der kleinen Partikel (≥ 2936 /l). Zudem sind höhere Außenpartikelkonzentrationen der kleinen Partikel (≥ 3808 /l) mit höheren Innenraumpartikelkonzentrationen verbunden (OR: 3,80; CI: 1,61 - 8,98). Im Modell für klimatisierte Räume (Tb 17) spiegelt sich lediglich der positive Zusammenhang zwischen Außenpartikelkonzentrationen der kleinen Partikel über 4330 /l (OR: 4,83; CI: 1,50 - 15,54) und höheren Innenraumpartikelkonzentrationen (≥ 1575 /l) wider. Ferner ist im Modell für die Gesamtheit der Büroräume das Fehlen von Pflanzen im Innenraum (OR: 2,02; CI: 0,90 - 4,54) tendenziell mit höheren Konzentrationen (≥ 2433 /l) verbunden.

An natürlich belüfteten Arbeitsplätzen (Tb 18) sind Luftfeuchten kleiner 38 % (OR: 2,88; CI: 1,10 - 7,54), und ein Vliesfaktor kleiner 37 % (OR: 2,64; CI: 1,10 - 6,33) signifikant mit höheren Innenpartikelkonzentrationen (≥ 2936 /l) verbunden. Zudem sind 2 bis 4-Mann-Büros (OR: 3,63; CI: 0,87 - 15,16) und 2 bis 4 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 2,43; CI: 0,93 - 6,36) tendenziell mit höheren Konzentrationen der kleinen Partikel (≥ 2936 /l) assoziiert.

Demgegenüber wirken in klimatisierten Büroräumen (Tb 17) ein Regalfaktor über 4 % (OR: 0,33; CI: 0,10 - 1,15) und 2 bis 4 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 0,45; CI: 0,19 - 1,10) tendenziell und 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 0,33; CI: 0,13 - 0,81) signifikant protektiv auf höhere Konzentrationen (≥ 1575 /l) (Tabelle 19). Zudem steigt bei einem Vliesfaktor unter 37 % (OR: 3,38; CI: 1,40 - 8,13) und 2 bis 4-Mann-Büros (OR: 2,37; CI: 1,12 - 4,98) das Risiko für höhere Konzentrationen der kleinen Partikel (≥ 1575 /l) signifikant.

5.4.2. Partikel > 2,0 μm

Tb 23 (im Anhang) zeigt, dass die mittleren Konzentrationen der Partikel > 2,0 μm signifikant erhöht sind für die kalte Jahreszeit bzw. den Winter, Außenpartikelkonzentrationen über 335 /l, eine Reinigung aller 2 Tage, die Kleinstadt, weniger als 1 Luftwechsel pro Stunde, 2 bis 4-Mann-Büros, 2 bis 4 Stunden Bildschirmarbeitszeit, keine Pflanzen am Arbeitsplatz, einen Vliesfaktor unter 37 %, einen Regalfaktor über 5 % und eine Luftfeuchte unter 50 %.

Zudem ist aus Tb 23 ablesbar, dass die mittleren Konzentrationen der Partikel $> 2,0 \mu\text{m}$ signifikant verringert sind für Klimaanlage bzw. Vollklimaanlagen, zwischen 1970 bis 1979 gebaute RLT-Anlagen, Induktionsanlagen, Mischlüftung, 2-Kanal Anlagen und einem schlechten Wartungszustand der Klimaanlage bzw. Beurteilung der Wartung.

In der multivariaten Auswertung für die Gesamtheit der Büroräume (Tb 16) sind eine fehlende Klimatisierung (OR: 8,54; CI: 3,83 - 19,06), Außenpartikelkonzentration über 196 /l (OR: 2,41; CI: 1,33 - 4,36) und eine Reinigung aller 2 Tage (OR: 4,37; CI: 2,54 - 7,51) die signifikanten Risikofaktoren für höhere Innenraumpartikelkonzentrationen der mittleren Partikel (≥ 315 /l). Nach Spezifizierung der Modelle auf natürliche belüftete Räume (Tb 18) bestätigen sich die Einflüsse. Außenpartikelkonzentrationen über 320 /l der mittleren Partikel (OR: 6,05; CI: 2,24 - 16,32) bzw. eine alle 2 Tage durchgeführte Reinigung (OR: 9,10; CI: 3,49 - 23,74) sind mit höheren Innenraumpartikelkonzentrationen der mittleren Partikel (≥ 401 /l) assoziiert. Ferner wirkt allein im Modell für die Gesamtheit der Büros das Fehlen von Pflanzen (OR: 2,06; CI: 0,95 - 4,43) tendenziell Risiko mindernd für höhere Konzentrationen der mittleren Partikel (≥ 315 /l).

Weiterhin zeigt sich in natürlich belüfteten Büros (Tb 18), dass Einzelplatzbüros (OR: 4,53; CI: 0,83 - 24,69) tendenziell mit höheren Konzentrationen (≥ 401 /l) der mittleren Partikel assoziiert sind. Luftfeuchten unter 38 % (OR: 0,28; CI: 0,13 - 0,65) wirken, im Vergleich zu klimatisierten Räumen, signifikant protektiv. Folglich sind in klimatisierten Büros (Tb 17) Luftfeuchten unter 55 % (OR: 2,37; CI: 1,04 - 5,43) ein signifikanter Einfluss für höhere Konzentrationen der mittleren Partikel (≥ 401 /l). Zudem korreliert in klimatisierten Räumen ein Regalfaktor über 4 % (OR: 1,92; CI: 0,92 - 4,02) tendenziell mit höheren Konzentrationen der mittleren Partikel (≥ 401 /l).

5.4.3. Partikel $> 10,0 \mu\text{m}$

Tb 24 (siehe Anhang) zeigt, dass die mittleren Konzentrationen der großen Partikel signifikant erhöht sind für die warme Jahreszeit bzw. den Sommer, Außenpartikelkonzentrationen über 1/l, Reinigungen aller 2 Tage, die Kleinstadt, weniger als 1 Luftwechsel pro Stunde, 2 bis 4-Mann-Büros, 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit, einen Vliesfaktor über 37 %, einen Regalfaktor über 5 % und Luftfeuchten unter 50 %.

Aus der Tb 24 ist zudem ablesbar, dass die mittleren Konzentrationen der großen Partikel signifikant verringert sind für Klimaanlagen, insbesondere Vollklimaanlagen, zwischen

1970 bis 1979 gebaute RLT-Anlagen, Boden-Decke-Systeme, Verdrängungslüftung, 2-Kanal Anlagen und schlecht gewartete Klimaanlage .

In der multivariaten Auswertung für die Gesamtheit der Büros (Tb 16) geht das Fehlen von Klimaanlage (OR: 0,36; CI: 0,16 - 0,79) und ein Vliesfaktor unter 37 % (OR: 0,59; CI: 0,37 - 0,93) mit einer Risikominderung für höhere Konzentrationen der großen Partikel (≥ 5 /l) einher. Folglich wirkt die natürliche Belüftung nur für die großen Partikel als ein protektiver Faktor. Weiterhin sind hohe Außenpartikelkonzentrationen über 1 /l (OR: 5,48; CI: 2,33 - 12,85), eine Reinigung aller 2 Tage (OR: 2,44; CI: 1,50 - 3,97), 2 bis 4-Mann-Büros (OR: 1,81; CI: 1,03 - 3,18), 2 bis 4 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 2,11; CI: 1,16 - 3,84) bzw. 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 2,85; CI: 1,67 - 4,86) und Luftfeuchten unter 50 % (OR: 5,70; CI: 2,57 - 12,66) signifikant mit höheren Konzentrationen der großen Partikel (≥ 5 /l) assoziiert.

Nach Spezifizierung der Modelle kann in natürlich belüfteten Räumen (Tb 18) bzw. in klimatisierten Räumen (Tb 17) gleichermaßen der beobachtete signifikante Zusammenhang zwischen höheren Außenpartikelkonzentrationen bzw. der Bildschirmarbeitszeit und höheren Innenraumpartikelkonzentrationen abgelesen werden. In natürlich belüfteten Räumen (Tb 18) sind höhere Außenpartikelkonzentrationen über 3 /l (OR: 21,20; CI: 3,88 - 116,05), 2 bis 4 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 3,16; CI: 1,01 - 9,92) bzw. 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 3,12; CI: 1,08 - 8,99) Quellen für höhere Konzentrationen der großen Partikel (≥ 6 /l). Anzumerken ist an dieser Stelle das sehr große Odds Ratio und Konfidenzintervall bei den Außenpartikel. Hier wird die Ausprägung „hohe Konzentrationen der Außenpartikel“ überschätzt, da diese Gruppe zu wenig Fälle enthält. Folglich ist die Aussagekraft dieses Faktors gemindert. Des Weiteren senkt ein Vliesfaktor unter 37 % (OR: 0,08; CI: 0,02 - 0,34), wie schon im Modell für die Gesamtheit der Büroräume, signifikant das Risiko für höhere Konzentrationen der großen Partikel (≥ 6 /l). Luftfeuchten unter 38 % (OR: 0,04; CI: 0,01 - 0,13) sind ebenfalls protektive Einflüsse auf höhere Konzentrationen der großen Partikel (≥ 6 /l).

In ausschließlich klimatisierten Büros (Tb 17) sind Außenpartikelkonzentration über 1 /l (OR: 4,03; CI: 1,70 - 9,55) und 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit (OR: 3,40; CI: 1,44 - 8,02) signifikant mit höheren Konzentrationen der großen Partikel (≥ 4 /l) verbunden. Luftfeuchten unter 38 % erhöhen anders als in den Modellen für die

Gesamtheit der Büroräume und natürlich belüfteten Büros, in klimatisierten Büros (Tb 16)
die Chance für höhere Konzentrationen an großen Partikel (OR: 4,05; CI: 1,51 - 10,87).

Ergebnisse

Tabelle 15: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung $\geq 2433,25$ /l ($PM_{0,5}$), $\geq 314,75$ /l ($PM_{2,0}$) und $\geq 5,00$ /l ($PM_{10,0}$) in Büroräumen im univariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße		Univariat > 0,5 μm			Univariat > 2,0 μm			Univariat > 10 μm		
		OR	CI	p	OR	CI	p	OR	CI	p
Außenpartikelkonzentration	Niedrig Hoch	1 2,05	1,38-3,04	0,000	1 2,19	1,48-3,22	0,000	1 2,62	1,63-4,22	0,000
Reinigungsintervall	Jeden Tag Aller 2 Tage	1 0,68	0,47-0,98	0,040	1 5,08	3,35-7,72	0,000	1 2,58	1,78-3,72	0,000
Klimaanlage	Nein Ja	5,04 1	3,33-7,64	0,000	12,55 1	7,55-20,85	0,000	2,58 1	1,79-3,73	0,000
Bürotyp	Großraumbüro 2 - 4-Mann-Büro Einzelplatzbüro	1 2,49 1,89	1,48-4,18 0,87-4,12	0,001 0,110	1 3,26 2,76	1,88-5,65 1,27-6,00	0,000 0,011	1 1,86 0,98	1,18-2,94 0,45-2,12	0,008 0,955
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h 2 - 4 h 4 - 6 h	1 0,83 0,85	0,50-1,38 0,56-1,31	0,475 0,460	1 1,18 1,02	0,72-1,95 0,66-1,58	0,506 0,919	1 2,38 2,92	1,40-4,03 1,84-4,63	0,001 0,000
Pflanzen	Pflanzen Keine Pflanzen	1 3,16	1,59-6,25	0,000	1 2,06	1,13-3,76	0,018	1 1,04	0,64-1,72	0,864
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht Nicht geraucht	1,67 1	1,15-2,41	0,007	1,13 1	0,78-1,63	0,525	0,93 1	0,65-1,33	0,691
Vliesfaktor	Klein Groß	1,17 1	0,81-1,69	0,410	2,00 1	1,37-2,90	0,000	0,33 1	0,22-0,49	0,000
Regalfaktor	Klein Groß	1 1,62	1,12-2,48	0,012	1 1,81	1,21-2,69	0,004	1 1,30	0,87-1,92	0,197
Luftfeuchte	Niedrig Hoch	1,69 1	1,07-2,68	0,025	6,02 1	3,16-11,49	0,000	4,14 1	2,41-7,11	0,000

Ergebnisse

Tabelle 16: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung $\geq 2433,25$ /l ($PM_{0,5}$), $\geq 314,75$ /l ($PM_{2,0}$) und $\geq 5,00$ /l ($PM_{10,0}$) in Büroräumen im multivariaten Modell. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Multivariat > 0,5 μ m			Multivariat > 2,0 μ m			Multivariat > 10,0 μ m		
		OR	CI	p	OR	CI	p	OR	CI	p
Außenpartikelkonzentration	Niedrig	1			1			1		
	Hoch	2,42	1,35-4,34	0,003	2,41	1,33-4,36	0,004	5,48	2,33-12,85	0,000
Reinigungsintervall	Jeden Tag	1			1			1		
	Aller 2 Tage	0,38	0,23-0,64	0,000	4,37	2,54-7,51	0,000	2,44	1,50-3,97	0,000
Klimaanlage	Nein	20,98	8,91-49,44	0,000	8,54	3,83-19,06	0,000	0,36	0,16-0,79	0,011
	Ja	1			1			1		
Bürotyp	Grossraumbüro	1			1			1		
	2 - 4-Mann-Büro	0,74	0,39-1,43	0,374	0,89	0,43-1,85	0,752	1,81	1,03-3,18	0,039
	Einzelplatzbüro	0,83	0,32-2,13	0,697	2,32	0,84-6,42	0,105	1,27	0,51-3,18	0,604
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	1			1			1		
	2 - 4 h	0,84	0,46-1,54	0,579	1,45	0,77-2,73	0,257	2,11	1,16-3,84	0,015
	4 - 6 h	0,94	0,55-1,62	0,827	1,18	0,66-2,10	0,571	2,85	1,67-4,86	0,000
Pflanzen	Vorhanden	1			1			1		
	Nicht vorhanden	<i>2,02</i>	<i>0,90-4,54</i>	<i>0,088</i>	<i>2,06</i>	<i>0,95-4,43</i>	<i>0,066</i>	1,16	0,63-2,13	0,636
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	2,16	1,36-3,41	0,001	1,48	0,93-2,35	0,102	0,99	0,65-1,51	0,973
	Nicht geraucht	1			1			1		
Vliesfaktor	Klein	1,24	0,74-2,08	0,407	1,31	0,76-2,27	0,334	0,59	0,37-0,93	0,023
	Groß	1			1			1		
Regalfaktor	Klein	1			1			1		
	Groß	0,83	0,50-1,36	0,453	1,43	0,82-2,49	0,208	1,10	0,67-1,80	0,715
Luftfeuchte	Niedrig	0,29	0,12-0,69	0,005	1,10	0,37-3,23	0,868	5,70	2,57-12,66	0,000
	Hoch	1			1			1		
Hosmere Lemeshow Test: Partikel > 0,5 μ m: $\chi^2 = 8,054$, $p = 0,428$; Partikel > 2,0 μ m: $\chi^2 = 10,574$, $p = 0,227$; Partikel > 10,0 μ m: $\chi^2 = 14,883$, $p = 0,061$										

Ergebnisse

Tabelle 17: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung ≥ 1575 /l ($PM_{0,5}$), $\geq 221,75$ /l ($PM_{2,0}$) und $\geq 4,00$ /l ($PM_{10,0}$) in klimatisierten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Multivariat > 0,5 μm			Multivariat > 2,0 μm			Multivariat > 10,0 μm		
		OR	CI	p	OR	CI	p	OR	CI	p
Außenpartikelkonzentration	Niedrig Hoch	1 4,83	1,50-15,54	0,008	1 1,52	0,70-3,29	0,286	1 4,03	1,70-9,55	0,002
Reinigungsintervall	Jeden Tag Aller 2 Tage	1 0,10	0,03-0,34	0,000	1 1,21	0,54-2,74	0,646	1 1,71	0,62-4,75	0,301
Bürotyp	Grossraumbüro	1			1			1		
	2 - 4-Mann-Büro	2,37	1,12-4,98	0,023	0,67	0,36-1,24	0,198	0,95	0,52-1,74	0,856
	Einzelplatzbüro	1,85	0,58-5,91	0,303	0,71	0,22-2,33	0,576	0,51	0,14-1,78	0,288
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	1			1			1		
	2 - 4 h	<i>0,45</i>	<i>0,19-1,10</i>	<i>0,080</i>	1,30	0,59-2,86	0,522	1,63	0,65-4,06	0,298
	4 - 6 h	0,33	0,13-0,81	0,015	1,28	0,58-2,80	0,540	3,40	1,44-8,02	0,005
Pflanzen	Vorhanden	1			1			1		
	Nicht vorhanden	2,77	0,76-10,12	0,123	0,84	0,38-1,84	0,166	0,93	0,42-2,04	0,854
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	1,06	0,55-2,06	0,863	1,16	0,64-2,11	0,622	0,91	0,50-1,68	0,767
	Nicht geraucht	1			1			1		
Vliesfaktor	Klein	3,38	1,40-8,13	0,007	1,68	0,81-3,52	0,166	1,35	0,59-3,07	0,478
	Groß	1			1			1		
Regalfaktor	Klein	1			1			1		
	Groß	<i>0,33</i>	<i>0,10-1,15</i>	<i>0,083</i>	<i>1,92</i>	<i>0,92-4,02</i>	<i>0,084</i>	1,00	0,43-2,32	0,989
Luftfeuchte	Niedrig	0,27	0,12-0,57	0,001	2,37	1,04-5,43	0,041	4,05	1,51-10,87	0,005
	Hoch	1			1			1		
Hosmere Lemeshow Test: Partikel > 0,5 μm : $\text{Chi}^2 = 2,377$, $p = 0,967$; Partikel > 2,0 μm : $\text{Chi}^2 = 12,714$, $p = 0,122$; Partikel > 10,0 μm : $\text{Chi}^2 = 13,918$, $p = 0,084$										

Ergebnisse

Tabelle 18: Gegenüberstellung der Einflüsse auf eine Partikel-Belastung $\geq 2936,00$ /l ($PM_{0,5}$), $\geq 400,75$ /l ($PM_{2,0}$) und $\geq 6,00$ /l ($PM_{10,0}$) in natürlich belüfteten Büroräumen. Odds Ratios (OR), 95 %-Wald-Konfidenzintervalle (CI), $p < 0,05$ = signifikant (fett), $p < 0,1$ = tendenziell (kursiv)

Einflussgröße	Ausprägung	Multivariat > 0,5 μ m			Multivariat > 2,0 μ m			Multivariat > 10,0 μ m		
		OR	CI							
Außenpartikelkonzentration	Niedrig Hoch	1 3,80			1 6,05			1 21,20		
			1,61-8,98	0,002		2,24-16,32	0,000		3,88-116,05	0,001
Reinigungsintervall	Jeden Tag Aller 2 Tage	1 0,69			1 9,10			1 0,34		
			0,31-1,54	0,364		3,49-23,74	0,000		0,08-1,36	0,162
Bürotyp	Grossraumbüro 2 - 4-Mann-Büro Einzelplatzbüro	1 3,63 3,82			1 0,95 4,53			X 1 1,97		
			<i>0,87-15,16</i> <i>0,56-26,29</i>	<i>0,077</i> <i>0,173</i>		<i>0,25-3,67</i> <i>0,83-24,69</i>	<i>0,943</i> <i>0,081</i>		<i>0,53-7,30</i>	<i>0,310</i>
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h 2 - 4 h 4 - 6 h	1 2,43 1,98			1 0,90 1,14			1 3,16 3,12		
			<i>0,93-6,36</i> <i>0,82-4,80</i>	<i>0,071</i> <i>0,128</i>		<i>0,37-2,18</i> <i>0,53-2,45</i>	<i>0,822</i> <i>0,741</i>		1,01-9,92 1,08-8,99	0,048 0,036
Pflanzen	Vorhanden Nicht vorhanden	1 0,99			1 1,44			1 0,77		
			0,33-03,02	0,988		<i>0,51-4,05</i>	<i>0,486</i>		<i>0,24-2,42</i>	<i>0,654</i>
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht Nicht geraucht	7,21 1			1,40 1			0,73 1		
			3,48-14,95	0,000		<i>0,76-2,58</i>	<i>0,276</i>		<i>0,33-1,62</i>	<i>0,441</i>
Vliesfaktor	Klein Groß	2,64 1			0,93 1			0,08 1		
			1,10-6,33	0,029		<i>0,42-2,04</i>	<i>0,848</i>		0,02-0,34	0,001
Regalfaktor	Klein Groß	1 1,03			1 1,97			1 0,32		
			<i>0,46-2,33</i>	<i>0,941</i>		<i>0,75-5,19</i>	<i>0,171</i>		<i>0,08-1,31</i>	<i>0,115</i>
Luftfeuchte	Niedrig Hoch	2,88 1			0,28 1			0,04 1		
			1,10-7,54	0,031		0,13-0,65	0,003		0,01-0,13	0,000

Hosmer Lemeshow Test: Partikel > 0,5 μ m: $\chi^2 = 3,558$, $p = 0,829$; Partikel > 2,0 μ m: $\chi^2 = 4,160$, $p = 0,761$; Partikel > 10,0 μ m: $\chi^2 = 14,774$, $p = 0,064$

5.5. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

- Es liegt mit Ausnahme der großen Partikel multivariat ein protektiver Einfluss der Klimatisierung auf die untersuchten Zielgrößen vor.
- Induktionsanlagen sind Quellen für höhere TVOC-Konzentrationen. Es kann keine protektive Wirkung von Quelllüftung/Boden-Decke-Systemen auf höhere TVOC-Konzentrationen nachgewiesen werden.
- Eine schlechte Beurteilung der Klimaanlage ist mit höheren TVOC-Konzentrationen assoziiert, wobei sich das Risiko um das 30-fache erhöht.
- Es besteht mit Ausnahme der mittleren Partikel in klimatisierten Räumen ein positiver Zusammenhang zwischen höheren Außenpartikelkonzentrationen und höheren Innenraumpartikelkonzentrationen der jeweiligen Partikelgröße. Zudem ist ein stärkerer Einfluss der großen Partikel auf ihre Innenkonzentration in natürlich belüfteten Gebäuden erkennbar.
- Mit steigender Bildschirmarbeitszeit steigt die Anzahl der großen Partikel unabhängig von der Belüftungsart. Zudem sind 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit in klimatisierten Büros mit höheren CO₂-Konzentrationen und niedrigeren Konzentrationen kleiner Partikel assoziiert. 2 bis 4 Stunden Bildschirmarbeitszeit verbessern die PAQ in natürlich belüfteten Räumen.
- In natürlich belüfteten Räumen ist Rauchen in näherer Umgebung eine signifikante Quelle für kleine Partikel.
- Für große Partikel wirkt ein großer Vliesfaktor als Quelle. Bezüglich der kleinen Partikel und schlechter PAQ wirkt ein großer Vliesfaktor protektiv. Des Weiteren wirkt ein kleiner Vliesfaktor in klimatisierten Räumen protektiv auf höhere TVOC-Konzentrationen und ist in natürlich belüfteten Räumen mit höheren TVOC-Konzentrationen verbunden.
- Luftfeuchten unter 38 % sind in natürlich belüfteten Räumen mit schlechter PAQ assoziiert. Luftfeuchten zwischen 38 % bis 55 % wirken protektiv auf höhere Konzentrationen der kleinen Partikel, während die Konzentration der mittleren und

Ergebnisse

großen Partikel erhöht ist.

- Pro 1 °C Temperaturanstieg steigt das Risiko für höhere TVOC-Konzentrationen zwischen 40 – 70 % an.
- Ein hoher Metabolismus ist in klimatisierten Räumen eine Quelle für höhere CO₂-Konzentrationen.
- Raumvolumina unter 31 m³/Person sind in klimatisierten Büros mit höheren CO₂-Konzentrationen assoziiert. Ein signifikanter Zusammenhang zur PAQ konnte multivariat nicht nachgewiesen werden.
- Klimatisierte 2 bis 4-Mann-Büros sind im Vergleich zu Großraumbüros mit höheren CO₂-Konzentrationen und höheren Konzentrationen der kleinen Partikel verbunden.
- Mit höheren Schimmelpilzsporenkonzentrationen steigt in natürlich belüfteten Büros und mit höheren Konzentrationen der mittleren Partikel in klimatisierten Büros das Risiko für schlechte PAQ.
- Höhere CO₂-Konzentrationen sind multivariat tendenziell und in der Inferenzstatistik signifikant mit schlechter PAQ assoziiert.
- In klimatisierten Räumen ist eine tägliche Reinigung mit einem höheren Risiko für schlechte PAQ und höheren Konzentrationen der kleinen Partikel verbunden. Eine Reinigung aller 2 Tage korreliert in natürlich belüfteten Büros mit höheren Konzentrationen der mittleren Partikel. Zudem ist eine Reinigung aller 2 Tage in klimatisierten Räumen mit niedrigeren TVOC-Konzentrationen assoziiert, während in natürlich belüfteten Büros die Chance für höhere Konzentrationen steigt.
- Ein großer Regalfaktor und das Fehlen von Pflanzen können nicht als signifikante Einflüsse nachgewiesen werden.

6. Diskussion

6.1. Lüftungsmodus

Durch natürliche Belüftung oder Klimatisierung wird in Innenräumen der Luftwechsel gesteuert. Zur Bestimmung des Luftwechsels dient das Verhältnis aus Zuluftvolumenstrom und Raumvolumen. Mit Hilfe des Luftwechsels soll die Abfuhr von Emissionen aus im Innenraum vorhandenen Quellen erreicht werden. In Hinblick auf die Literatur wird angenommen, dass eine Klimatisierung im Vergleich zur natürlichen Belüftung mit niedrigeren Konzentrationen der untersuchten Zielgrößen und einer Verbesserung der PAQ verbunden ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstreichen, dass der Klimatisierung von Räumen bei den untersuchten Zielgrößen CO₂ (Pasanen et al. 2002, Scheff et al. 2002), TVOC (Girman 1989, Weschler et al. 1992) sowie kleiner und mittlerer Partikel (Dockery und Spengler 1981, Wallace 1996a, Janssen et al. 2002, Pasanen et al. 2002, Horemans et al. 2008) eine protektive Wirkung zukommt. Auch bezüglich der PAQ wird eine Verbesserung in klimatisierten Räumen nachgewiesen. Der Einfluss von RLT-Anlagen auf die PAQ wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Einerseits ist der Betrieb von Klimaanlage ein entscheidender Faktor für die Unzufriedenheit mit der PAQ (Fanger et al. 1988, Pejtersen et al. 1989, Thorstenson et al. 1990), andererseits wird in klimatisierten Räumen eine bessere PAQ im Vergleich zu natürlich belüfteten Räumen nachgewiesen (Wargocki et al. 2002). Fanger et al. untersuchten in Kopenhagen 20 zufällig ausgewählte Büroräume. Die Räume wurden von 54 unabhängigen Personen 3-mal begangen. Die Aufgabe der Personen war es die Akzeptanz der Luft zu beurteilen. Dabei wurde zum einen der Zustand mit Belegung durch die Nutzer, zum anderen der Zustand ohne Nutzer untersucht. Zusätzlich wurde im zuletzt genannten Zustand ohne Nutzer überprüft, wie sich ein Abschalten der Klimaanlage im Vergleich zum Klimaanlagebetrieb auf die PAQ auswirkt. Es zeigte sich, dass Klimaanlage einen Beitrag von 3 olf zur Luftverunreinigung leisten. Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass in diesem Experiment auch nachgewiesen werden konnte, dass bei gut gewarteten Klimaanlage keine Verschlechterung der PAQ resultierte (Fanger et al. 1988). Ein Aspekt der für den Einsatz von RLT-Anlagen spricht, ist die Kontrolle der Luftfeuchte und Lufttemperatur im Innenraum. Somit bieten klimatisierte Räume auch im Sommer eine gute PAQ (Wargocki et al. 2002). Zudem sind beim Einsatz von RLT-Anlagen höhere Luftwechselraten zu erwarten. In einer europäischen Studie wurden 56 Gebäude in neun verschiedenen Ländern untersucht. Dabei sollten Verschmutzungsquellen

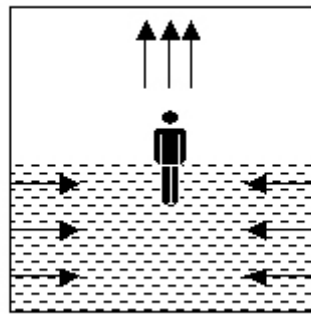
gefunden werden, die von den Nutzern bzw. deren Aktivitäten und dem Belüftungssystem ausgehen. Der Großteil der Gebäude war mechanisch, einige wenige natürlich belüftet. Natürlich belüftete Gebäude zeigten generell niedrigere Luftwechselraten als klimatisierte Gebäude. Ein weiteres Ergebnis der Studie war, dass sich die PAQ mit steigenden Luftwechselraten verbessert. Demnach korrelierten Gebäude mit hohen Belüftungsraten, in diesem Fall klimatisierte, mit einer besseren PAQ (Bluyssen et al. 1996b). Auch Wargocki et al. konnten diesen Zusammenhang bestätigen. Sie zeigten, dass mit steigender Luftwechselrate in klimatisierten Räumen eine Verbesserung der PAQ nachweisbar ist (Wargocki et al. 2000). Damit schließen sich die hier gefunden Ergebnisse den Ergebnissen von den Arbeitsgruppen um Wargocki und Bluyssen an. Somit kann geschlussfolgert werden, dass der Einsatz von Klimaanlage mit einer Verbesserung der PAQ korreliert.

Des Weiteren zeigen sich höhere Konzentration der großen Partikel in klimatisierten Räumen, während die natürliche Belüftung protektiv wirkt. Man kann vermuten, dass diese Wirkung auf die in klimatisierten Räumen vorherrschenden höheren Luftgeschwindigkeiten zurückzuführen ist. In Folge werden Partikel sehr lange in der Schwebelage gehalten, wodurch ihre Konzentrationen erhöht sind. Weitere Untersuchungen sollten sich anschließen.

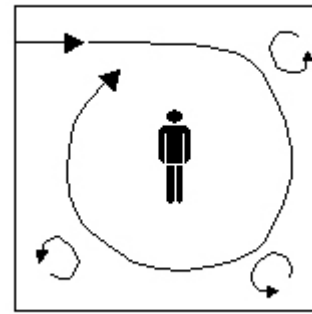
Die protektive Wirkung von Klimaanlage hängt zudem stark von der Art des eingesetzten Belüftungssystems und der Regelmäßigkeit der Wartung ab. Durch die günstige Datenlage kann für die VOC überprüft werden, inwieweit die Art der Belüftung und die Beurteilung der Wartung einen Einfluss besitzen. Bei der Belüftungsart werden Quelllüftung bzw. Boden-Decke-Systeme und Induktionsanlagen im Vergleich zu Decke-Decke-Systemen untersucht. In Quelllüftungssystemen wird die Zuluft mit Untertemperatur in Bodennähe in den Raum eingebracht. Wärmequellen im Raum (Mensch, Geräte) überlagern diese Verdrängungsströmung und bewirken eine zusätzlich Auftriebsströmung in Richtung Decke (Abbildung 4) (Schramek 2003). Ähnlich funktionieren Boden-Decke-Systeme. Auch bei ihnen wird eine Auftriebsströmung über Lufteinlässe im Boden und Luftauslässe in der Decke erreicht. Decke-Decke-Systeme besitzen demgegenüber sowohl den Lufteinlass als auch den Luftauslass in der Decke (Chao und Wan 2004). Induktionsanlagen funktionieren über das Verdünnungsprinzip, d.h. Raumluft wird mit frischer Außenluft vermischt, um Schadstoffe zu verdünnen. Im Gegensatz zur Quelllüftung wird versucht, mit Hilfe der Luftmischung jede freie Konvektion durch Heiz- oder Kühlflächen (Fenster, etc.) zu unterdrücken. Die Luft muss deshalb immer stark impulsbehaftet eingebracht werden, um die nötige Luftinduktion zu erreichen (Abbildung 4) (Schramek 2003). Es wird angenommen,

dass der Einsatz von Quelllüftung / Boden-Decke Systeme mit niedrigeren TVOC-Konzentrationen korreliert. Demgegenüber soll eine schlechte Wartung von RLT-Anlagen das Risiko für höhere TVOC-Konzentrationen verstärken. Entgegen der Annahme kann kein Zusammenhang zwischen Quelllüftungssystemen / Boden-Decke Systemen und höheren TVOC-Konzentrationen nachgewiesen werden. Allerdings sind Induktionsanlagen signifikant mit höheren TVOC-Konzentrationen verbunden. Bisher hat keine Studie den Zusammenhang zwischen Induktionsanlagen und TVOC-Konzentrationen untersucht. Daher sind die Ergebnisse gegenwärtig nicht vergleichbar. Nachfolgende Studien sollten sich anschließen.

Eine schlechte Wartung von RLT-Anlagen ist in den Auswertungen ein Risikofaktor für höhere TVOC-Konzentrationen. Dieses Ergebnis ist wahrscheinlich auf mit Bakterien belastete Filter zurückzuführen. Schleibinger und Rüdén untersuchten die Emissionen von speziellen VOC (Aldehyde, Ketone) aus Luftfiltern. Ihr Ansatz war, dass Schimmelpilze und Bakterien in Klimaanlage auf Filtern akkumulieren und unter bestimmten Bedingungen mikrobielle flüchtige, organische Substanzen (MVOC) produzieren. Sie führten dazu Untersuchungen an gebrauchten Filtern durch, die mindestens 3 Monate in Betrieb waren. Schleibinger und Rüdén konnten nachweisen, dass mikrobielle Aktivitäten auf Filtern eine mögliche Quelle für VOC darstellten (Schleibinger und Rüdén 1999). Denkbar ist deshalb, dass aufgrund der mikrobiell belasteten Filter eine höhere TVOC-Konzentration resultiert. Allerdings ist dieser Zusammenhang zwischen mikrobiell belasteten Filtern und TVOC-Konzentrationen spekulativ, da er nicht untersucht wurde. Es ist jedoch erwiesen, dass die VOC-Emissionen in Klimaanlage bei verschmutzten Klimaanlage-Bauteilen und Oberflächen stark ansteigen, was auf eine schlechte Wartung der RLT-Anlagen zurückzuführen ist. Die Konsequenz aus diesem Ergebnis ist eine Vermeidung negativer Effekte von Klimaanlage durch verbesserte Reinigungen, Wartungen und Betreibungen (Seppänen und Fisk 2004).



Quelllüftung



Induktionslüftung

Abbildung 4: Schematische Darstellung von Luftführungen (Schramek et al. 2003).

6.2. Außenpartikelkonzentrationen

Außenpartikel gelangen über offene Fenster und Spalten im Mauerwerk in den Innenraum (Wallace 1996). Durch Klimaanlage bzw. Filter werden Außenpartikel vor dem Eintritt in den Innenraum reduziert. Es wird angenommen, dass der Einsatz von Klimaanlage im Vergleich zu natürlicher Belüftung den Beitrag der Außenluft zur Feinstaubkonzentration im Innenraum verringert. Es zeigt sich, dass in natürlich belüfteten Gebäuden höhere Innenraumpartikelkonzentrationen mit höheren Außenpartikelkonzentrationen assoziiert sind. Demgegenüber kann in klimatisierten Räumen kein Zusammenhang zwischen den Innenraumpartikelkonzentrationen der mittleren Partikel und ihren Außenpartikelkonzentrationen nachgewiesen werden. Die meisten Daten über den Zusammenhang zwischen Außenpartikel und Innenpartikel entstammen einer großen Studie aus den USA, der Havard-Six-City Studie. Nach Auswertung der Daten zeigte sich, dass die Innenraumpartikelkonzentration durch die Infiltration der Außenluft bestimmt wird. Langfristig betrug die durchschnittliche Infiltration von $PM_{3,5}$ in Gebäuden ohne Klimaanlage 70 %. In voll klimatisierten Gebäuden wurde diese Infiltration auf 30 % reduziert (Dockery und Spengler 1981). Nazaroff et al. untersuchten in klimatisierten und natürlich belüfteten Museen Methoden zur Reduktion der Partikelkonzentration im Innenraum. Es zeigte sich, dass Partikel $< 10 \mu m$ vorwiegend durch Filter aus der Außenluft entfernt wurden (Nazaroff et al. 1990). Zudem zeigte sich anderen Studien, dass neben Partikel $< 10 \mu m$ auch Partikel im Größenbereich von $2 \mu m$ an Filtern gebunden und damit in ihrer Innenraumkonzentration reduziert werden (Fugler und Bowser 2002, Nazaroff 2004). Die Arbeitsgruppe um Horemans konnte bei der Untersuchung von 9 Büros in Belgien untermauern, dass der Einsatz von Klimaanlage im Vergleich zu natürlicher Belüftung mit signifikant niedrigeren Partikel-

konzentrationen verbunden ist. Sie konnten nachweisen, dass die indoor/outdoor Ratio (I/O Ratio) für Partikel in natürlich belüfteten Gebäuden 0,6 beträgt und in klimatisierten Gebäuden auf 0,46 sinkt. Auch hier führten sie ihre Ergebnisse auf die Filter zurück (Horemans et al. 2008). Somit konnten alle Studien nachweisen, dass in klimatisierten Räumen der Einfluss der Außenpartikelkonzentrationen auf die Innenraumkonzentration abgeschwächt wird, wobei der Filtereinsatz eine entscheidende Rolle spielt. Der geringere Einfluss in klimatisierten Räumen zeigt sich in den vorliegenden Auswertungen deutlich in einem schwächeren Zusammenhang zwischen den Außen- und Innenkonzentrationen der kleinen und großen Partikel. Bei den mittleren Partikeln existiert sogar kein Zusammenhang. Damit kann die Hypothese bestätigt werden, wonach der Einsatz von Klimaanlage den Einfluss der Außenpartikel auf ihre Innenpartikel abschwächt.

Ein weiterer interessanter Aspekt ist aus den Ergebnissen ablesbar: Es zeigt sich in natürlich belüfteten Räumen ein stärkerer Zusammenhang zwischen den großen Partikeln. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zur Literatur. Wallace und die Arbeitsgruppen um Øje und Blondeau berichten, dass über den natürlichen Luftwechsel 65 % der $PM_{2,5}$ und nur 57 % der PM_{10} in den Innenraum gelangen (Wallace 1996a, Øje et al. 1997, Blondeau et al. 2005). Auch Cyrus et al. fanden bei Untersuchungen von Modellbüros, dass für $PM_{2,5}$ 75 %, für PM_{10} jedoch nur 43 % der Innenraum Partikel-Belastung durch die jeweilige Außenluftkonzentration erklärbar war (Cyrus et al. 2004). Demzufolge ist bei allen Autoren eine stärkere Korrelation zwischen den kleinen Partikeln der Außen- und Innenraumluft ablesbar. Die Ergebnisse aus der Literatur stehen damit im Widerspruch zu dem hier gefundenen Ergebnis.

6.3. Aktivitäten der Nutzer und Raumvolumen pro Person

Verschiedene Aktivitäten der Nutzer beeinflussen die Konzentrationen der Zielgrößen. In diesen Auswertungen kann lediglich der Metabolismus von Personen und Rauchen untersucht werden. Es wird angenommen, dass ein höherer Metabolismus mit höheren CO_2 -Konzentrationen verbunden ist. Zudem bewirkt Rauchen neben einer Verschlechterung der PAQ eine Erhöhung von TVOC-, und Partikelkonzentrationen. Wie erwartet, zeigt sich in klimatisierten Räumen ein positiver Zusammenhang zwischen einem höheren Metabolismus und höheren CO_2 -Konzentrationen. Der signifikante Zusammenhang zwischen Metabolismus und CO_2 ist in der Literatur relativ unbestritten (Wanner 1982, Seppänen et al. 2004, Pluschke 2006). Allerdings wird er nur im Modell für klimatisierte Büros nachge-

wiesen, in natürlich belüfteten Gebäuden zeigt er sich nicht. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass in klimatisierten Räumen meist konstante Messbedingungen (Luftwechsel, Luftparameter) vorherrschen. Demgegenüber stören in natürlich belüfteten Gebäuden viele unbekannte und damit nicht in den Auswertungen berücksichtigte Faktoren die erwarteten Zusammenhänge.

Aus den Ergebnissen zum Einfluss des Rauchens wird deutlich, dass Rauchen in natürlich belüfteten Räumen tendenziell mit einer Verschlechterung der PAQ verbunden ist. Zudem kann ein signifikanter Zusammenhang zu höheren Konzentrationen der kleinen Partikel abgelesen werden. Kein signifikantes Ergebnis stellt sich demgegenüber für die Variablen TVOC und die mittleren und großen Partikel heraus. Die meisten Daten über die Verbindung zwischen Rauchen und Partikel liefern drei Studien aus den USA, die Havard-Six Studie, die New-York-State-ERDA Studie und die EPA-Particle-TEAM Studie. Alle drei Studien zeigten, dass Zigarettenrauch die Hauptquelle für feine Partikel im Größenbereich $PM_{2,5}$ und $PM_{3,0}$ ist. Dabei wurde beim Rauchen durchschnittlich etwa 25 - 47 $\mu g/m^3$ Partikelmasse freigesetzt (Wallace 1996). Andere Autoren konnten nachweisen, dass pro Zigarette etwa 0.7 - 0.9 mg/min Partikelmasse mit einem mittleren Durchmesser von 0,2 μm emittiert wird (Owen et al. 1992, Klepeis et al. 2003, Matson 2004). In Übereinstimmung zur Literatur bestätigt sich die Konzentrationserhöhung der kleinen Partikeln durch Rauchen. In Deutschland wurde in den letzten Jahren viel für den Nichtraucherschutz getan. Seit 2004 existiert in der Arbeitsstättenverordnung ein Nichtraucherschutzgesetz (§5). Soweit erforderlich, kann der Arbeitgeber ein allgemeines oder auf einzelne Bereiche der Arbeitsstätte beschränktes Rauchverbot erlassen, wenn keine anderen Maßnahmen, wie z.B. die Einrichtung von Raucherräumen, möglich ist (Arbeitsstättenverordnung 2004, Heyden und Alker 2008). Zudem gibt es seit Mitte 2007 „Nichtraucherschutzgesetze“ für Gaststätten und öffentliche Gebäude (Heyden und Alker 2008). Die politische Entwicklung ist positiv zu bewerten in Hinblick auf das hier gefundene Ergebnis, da von Partikeln $> 0,5 \mu m$, schwere gesundheitliche Beeinträchtigungen ausgehen.

In der Literatur werden Zusammenhänge zwischen einem kleinen Raumvolumen und hohen CO_2 -Konzentrationen beschrieben. Die Arbeitsgruppe um Corsi konnte bei der Untersuchung von offen gestalteten Klassenzimmern nachweisen, dass bei gleichen Luftwechselraten und Personenzahlen die CO_2 -Konzentrationen bei großen Raumvolumina langsamer ihre Maximalkonzentration erreichen als bei kleinen Raumvolumina (Corsi et al. 2002). Auch Fromme et al. konnten in Schulräumen feststellen, dass hohe CO_2 -Konzen-

trationen signifikant mit einem kleinen Raumvolumen assoziiert sind (Fromme et al. 2008). In den multivariaten Modellen kann allerdings nicht das Raumvolumen an sich untersucht werden, sondern nur das pro Person zur Verfügung stehende Raumvolumen. Es zeigt sich, dass kleine Raumvolumina pro Person mit höheren CO₂-Konzentrationen in klimatisierten Räumen verbunden sind. Auch hier tritt der Zusammenhang wie schon beim Metabolismus nur in klimatisierten Räumen auf, was auf die dort vorherrschenden konstanteren Bedingungen (Luftwechsel, Luftparameter) zurückzuführen ist. Dadurch werden mögliche Zusammenhänge, anders als in natürlich belüfteten Räumen, kaum durch unbekannte Faktoren beeinflusst.

6.4. Bildschirmarbeitszeit

Im ProKlimA-Projekt wurde die Variable Bildschirmarbeitszeit aufgenommen, welche die durchschnittliche Arbeitszeit am PC angibt. Demzufolge kann sie auch als Synonym für die Anwesenheit von Computern betrachtet werden. Es wird angenommen, dass das Vorhandensein von PC's mit niedrigeren CO₂-, höheren TVOC- bzw. Partikelkonzentrationen und schlechter PAQ korreliert. In den Modellen zeigt sich kein Zusammenhang zwischen der Bildschirmarbeitszeit und höheren TVOC-Konzentrationen. Zudem kann ein signifikantes, aber inkonsistentes Ergebnis für die PAQ abgelesen werden.

Des Weiteren sind 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit mit höheren CO₂-Konzentrationen in klimatisierten Räumen verbunden. In der Literatur gibt es zu dieser Thematik bisher keine Studie. Lediglich die Arbeitsgruppe um Bako-Biro beschäftigte sich mit dem Zusammenhang zwischen PC-Anwesenheit im Innenraum und veränderten CO₂-Konzentrationen. Bako-Biro et al. zeigten, dass CO₂-Konzentrationen bei Anwesenheit von PC's geringfügig aber signifikant niedriger sind als bei PC-Abwesenheit. Sie führten ihre Beobachtungen darauf zurück, dass die Nutzer geringere metabolische Raten bei PC-Anwesenheit aufwiesen. Bako-Biro et al. schlussfolgerten daraus, dass Menschen unbewusst ihre Aktivitäten und folglich ihre metabolischen Raten reduzieren, wenn die Luftverschmutzung durch Computer ansteigt (Bako-Biro et al. 2004). Zudem sind die körperlichen Aktivitäten bei Computerarbeit reduziert, da die Nutzer sich kaum bewegen. Demzufolge ist auch die CO₂ Abgabe geringer. Damit würde das Ergebnis dieser Arbeit den Erkenntnissen von Bako-Biro et al. widersprechen. Allerdings kann das gefundene Ergebnis nicht direkt mit den Auswertungen von Bako-Biro et al. verglichen werden. Die Messungen von der Arbeitsgruppe um Bako-Biro wurden unter konstanten Bedingungen (konstanter Luftwechsel,

Luftfeuchte und Lufttemperatur) vorgenommen. Dabei wurde untersucht inwieweit sich die CO₂-Konzentration bei der Anwesenheit von PC verändert. Als Vergleich diente die gemessene CO₂-Konzentration derselben Räumen nach Entfernung der Computer. Demgegenüber war im ProKlimA-Projekt die Variable Bildschirmarbeitszeit eine Teil des Fragebogens, welchen die Nutzer ausfüllten. Zudem wurde bei der CO₂-Messung nicht berücksichtigt, ob in Räumen Computer vorhanden waren oder fehlten. Damit ist der Vergleich mit der Studie von Bako-Biro et al. unzureichend. Betrachtet man allerdings die Bildschirmarbeitszeit als Maß für die Anwesenheit von Personen, ergibt sich ein neuer Erklärungsansatz für den Zusammenhang zwischen steigender Bildschirmarbeitszeit und höheren CO₂-Konzentrationen. Denkbar wäre, dass bei längeren Arbeitszeiten am Bildschirm die Nutzer auch länger im Raum sind. Folglich würde die CO₂-Konzentration unter gleichen Innenraum-Bedingungen (z.B. konstanter Luftwechsel) bei langen Arbeitszeiten vor dem Bildschirm höher sein, als bei kurzen Bildschirmarbeitszeiten. Allerdings können zu dieser Vermutung in der Literatur keine unterstützenden Angaben gefunden werden.

Weiterhin zeigt sich aus den Ergebnissen, dass mit verstärkter Bildschirmarbeitszeit die Anzahl der großen Partikel unabhängig von der Belüftungsart im Innenraum steigt. Ein Vergleich mit der Literatur zeigt, dass Computer normalerweise keine Quellen für Schwebstoffe sind. Allerdings wurde eine Reemission von feinen Partikeln beobachtet, welche sich in den Geräten abgesetzt hatten. Dabei berufen sich Destailats et al. auf eine Studie von der Arbeitsgruppe um Ren. Diese fanden in ihren Experimenten, dass zwischen 4,0 - 6,3 mg Staub pro Tag während des Computerbetriebes freigesetzt wird (Ren et al. 2006, Destailats et al. 2008). Diese Freisetzung ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass durch Lüfter in den PC-Gehäusen, welche eigentlich zur Kühlung dienen, abgelagerte Partikel nach außen transportiert werden (Shehabi et al. 2008). Allerdings wird in allen Studien nicht auf die Partikelgröße eingegangen. Daher sollten nachfolgende Studien bei der Messung der Partikelfreisetzung aus Computergehäusen die abgegebenen Partikelgrößen berücksichtigen.

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse eine Risiko vermindernde Wirkung von 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit auf Partikel > 0,5 µm. Eine mögliche Erklärung könnte die Ablagerung von kleinen Partikeln auf Oberflächen bzw. Filtern im PC-Gehäuse sein. Somit würde sich während der PC-Arbeit die Partikelkonzentration im Innenraum reduzieren. Allerdings findet sich zu dieser Thematik in der Literatur derzeit keine Veröffentlichung, weshalb diese Interpretation spekulativ ist. Folglich sollte in nachfolgenden Studien unter-

sucht werden, inwieweit sich die CO₂- und Partikelkonzentrationen bei der Arbeitszeit am PC verändern. Parallel sollten als Vergleich die gemessenen CO₂- und Partikelkonzentrationen in Räumen ohne PC-Arbeit gemessen werden. Zudem sollten die Ursachen für den gegensätzlichen Einfluss der Bildschirmarbeitszeit in Abhängigkeit von der Partikelgröße erforscht werden.

6.5. Emissionslasten im Innenraum

Der Innenraum wird durch eine Vielzahl an Stoffemissionen aus Gebäudematerialien belastet. Vor allem nach Renovierungen kann ein TVOC-Anstieg nachgewiesen werden (Berglund et al. 1988, Rothweiler et al. 1992). Deshalb wird eine Erhöhung der TVOC-Konzentrationen und eine Verschlechterung der PAQ nach Renovierungsmaßnahmen angenommen. Aufgrund geringer Fallwerte können diese Zusammenhänge multivariat für die Variable Renovierung nicht getestet werden.

Des Weiteren wird erwartet, dass höhere CO₂- und Partikelkonzentrationen mit einer Verschlechterung der PAQ einhergehen. In den Auswertungen sind univariat höhere CO₂-Konzentrationen signifikant mit schlechter PAQ verbunden, während in den multivariaten Modellen nur tendenzielle Ergebnisse zu finden sind. Dabei sind die tendenziellen Ergebnisse über die gesamten Modelle konsistent und können somit zur Bestätigung der Arbeitshypothesen und Literaturveröffentlichungen herangezogen werden. Schon Pettenkofer erkannte die Verbindung zwischen hohen CO₂-Konzentrationen und einer schlechten Beurteilung der Luftqualität (Pettenkofer 1858). Andere Autoren konnten den Zusammenhang zwischen hohen CO₂-Konzentrationen im Raum und einer Verschlechterung der PAQ in Experimenten ratifizieren (Chen et al. 1990, Fitzner und Finke 1996, Wargocki 2004). Die Konsequenz aus den Ergebnissen ist ein besser durchgeführter Luftwechsel, wodurch CO₂-Konzentrationen im Innenraum reduziert werden und letztlich auch die PAQ verbessert wird.

Zahlreiche Autoren führten Untersuchungen an Filtern durch, welche mit Partikeln beladen waren. Dabei sollte herausgefunden werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Partikel-Beladung und einer Verschlechterung der PAQ existiert. In allen Studien konnte der Zusammenhang bekräftigt werden (Pejtersen et al. 1989, Hujanen et al. 1991, Bluyssen 1993, Pasanen et al. 1994, Pejtersen 1996a, Clausen 2004). Die Arbeitsgruppe um Pasanen zeigte, dass vor allem Partikel > 10µm Gerüche abgaben, während die Geruchsaussendung für feinere Partikel (< 2,1 µm) gering war (Pasanen et al. 1994). Für die Gerüche waren wahr-

scheinlich VOC-Emissionen verantwortlich, da VOC an Partikeloberflächen binden können (Wolkoff und Wilkins 1994, Wolkoff et al. 1997, Böttcher 2001, Sippola und Nazaroff 2002). Zudem wurde diskutiert, ob einige Geruchsaussendungen auf der mikrobiellen Besiedelung von Partikelfiltern beruhen, da Mikroorganismen unter günstigen Wachstumsbedingungen MVOC produzieren. Die MVOC bewirkten ihrerseits eine Verschlechterung der PAQ (Pejtersen 1996a).

Die vorgenannten Ergebnisse aus der Literatur liefern den Ansatz zur Klärung eines möglichen Zusammenhanges zwischen in der Raumluft vorhandenen Mikroorganismen bzw. Partikeln und der PAQ. Dazu werden in der vorliegenden Arbeit höhere Partikelkonzentrationen der mittleren Größe, höhere Schimmelpilzsporen- und höhere Bakterienkonzentrationen in der Raumluft hinsichtlich einer Verschlechterung der PAQ untersucht. Ein Zusammenhang zwischen höheren Bakterienkonzentrationen und schlechter PAQ kann nicht nachgewiesen werden. Es zeigt sich in klimatisierten Büros, dass höhere Konzentrationen der mittleren Partikel mit schlechter PAQ verbunden sind. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis liefern Wolkoff und Böttcher. Wahrscheinlich beruht die Verschlechterung der PAQ in einer Aufnahme und Abgabe von VOC durch Partikel (Wolkoff et al. 1997, Wolkoff et al. 1998, Böttcher 2001). Allerdings kann diese Annahme nicht überprüft werden, da sie im ProKlimA-Projekt nicht untersucht wurde. Der Zusammenhang zwischen höheren Schimmelpilzsporenkonzentrationen und schlechter PAQ in natürlich belüfteten Räumen könnte auf die Produktion von MVOC durch Pilze selbst zurückzuführen sein. In einigen Studien konnte nachgewiesen werden, dass Pilze in der Lage sind, auf und in Gebäudematerialien MVOC zu produzieren (Sunesson et al. 1995, Sunesson et al. 1996). Durch die MVOC Produktion könnte sich somit die Verschlechterung der PAQ erklären. Allerdings wurde auch zu dieser Thematik bisher keine Untersuchungen durchgeführt. Deshalb wäre es wünschenswert, wenn nachfolgende Studien den Zusammenhang zwischen den mittleren Partikeln bzw. Schimmelpilzsporen und der PAQ untersuchen. Dabei sollten mögliche MVOC Produktionen durch die Schimmelpilze und VOC Abgaben von den Partikeloberflächen gemessen werden, um die in dieser Arbeit vermuteten Zusammenhänge zu untermauern.

6.6. Lufttemperatur und Luftfeuchte

Aus den multivariaten Modellen ist ablesbar, dass Luftfeuchten unter 38 % signifikant mit einer Verschlechterung der PAQ in natürlich belüfteten Büroräumen assoziiert sind. Damit

steht das gefundene Ergebnis im Widerspruch zur Literatur. Studien an der Technischen Universität Dänemark zeigten, dass die PAQ stark durch die Luftfeuchte und Lufttemperatur der inhalierten Luft beeinflusst wird. Überprüft wurde diese Thematik mit 36 Testpersonen, welche die Akzeptanz von durch typische Gebäudematerialien verunreinigter Luft in Klimakammern beurteilten. Dabei verschlechterte sich die PAQ mit steigender Luftfeuchte und Temperatur (Fang et al. 1998b). Auch in zwei anderen Studien von der Arbeitsgruppe um Fang wurde dieser Zusammenhang überprüft. In der ersten Studie bewertete ein untrainiertes Panel bestehend aus 40 Personen in Klimakammern die Akzeptanz der Luft an Hand von 5 typischen Gebäudematerialien. Die sensorische Antwort wurde mit Hilfe verschiedener Kombinationen zwischen der Luftfeuchte (30 - 70 %) und der Temperatur (18 - 28 °C) getestet. Dabei zeigte sich, dass die Luft mit steigender Temperatur und Luftfeuchte schlechter bewertet wurde (Fang et al. 1998a). Die zweite Studie von der Arbeitsgruppe um Fang konnte dieses Ergebnis untermauern. Personen bewerteten die PAQ besser bei 20 °C und 40 % relative Luftfeuchte und einer Belüftungsrate von 3.5 l/s/Person als bei 23 °C und 50 % relative Luftfeuchte und einer Belüftungsrate von 10 l/s/Person (Fang et al. 1999). Menschen scheinen demnach das Gefühl von Abkühlung im Respirationstrakt bei jedem Atemzug zu mögen. Dabei wird ein Gefühl der Frische erzeugt, was angenehm empfunden wird. Erfolgt demgegenüber keine angemessene Kühlung, wird die Luft als abgestanden, stickig und unakzeptabel bezeichnet. Dieser Mangel an Kühlung ist damit eng mit schlechter PAQ verwandt (Fanger 2001). Neue Studien bekräftigen zudem, dass der lokale Effekt der Temperatur und Luftfeuchte auf den Respirationstrakt und damit auf die PAQ größer ist als auf das körperliche Wärmeempfinden. Daher ist es nützlich, die Luft moderat bei niedrigen Luftfeuchten und Lufttemperaturen zu halten, was letztendlich die PAQ verbessert (Fanger 2001, Fang et al. 2004). Aus allen Studien ist somit erkennbar, dass höhere Luftfeuchten mit einer Verschlechterung der PAQ assoziiert sind. Demgegenüber zeigt sich in den Auswertungen dieser Arbeit ein gegensätzliches Ergebnis.

Bezüglich der Lufttemperatur und der PAQ kann in den vorliegenden Auswertungen kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden.

Des Weiteren ist aus dem Modell für klimatisierte Büros ablesbar, dass sich bei je 1 °C Lufttemperaturerhöhung das Risiko für höhere TVOC-Konzentrationen um das 1,7-fache erhöht. Wolkoff und die Arbeitsgruppen um Globes und Bluysen demonstrierten, dass je nach untersuchtem Material hohe Luftfeuchten und Lufttemperaturen zu einer nachweislichen Emission an flüchtigen organischen Substanzen führten (Globes et al. 1992, Bluysen

et al. 1996a, Wolkoff 1996). Die Studie von Sollinger et al. untermauert dieses Ergebnis. In experimentellen Studien an 10 verschiedenen Textilt Teppichen konnten sie nachweisen, dass bei ansteigender Temperatur erhöhte VOC-Emissionen resultierten (Sollinger et al. 1994). Damit schließt sich das gefundene Ergebnis den vorgenannten Studien an. Temperaturerhöhungen sind in Hinblick auf höhere TVOC-Konzentrationen unbedingt zu vermeiden.

Der Einfluss der Luftfeuchte auf die Ablagerung von Partikel wird immer wieder diskutiert. Physikalisch gesehen kommt es bei niedrigen Luftfeuchten zur Austrocknung von Materialien, wodurch die Partikel schlechter haften. In Folge werden Partikel vermehrt frei, wodurch die Partikelkonzentration im Raum ansteigt (Schramek et al. 2003). Dieser Zusammenhang konnte in Experimenten bestätigt werden. Allerdings wurden die Untersuchungen dazu nicht im Raum sondern in RLT-Anlagen durchgeführt. Die Arbeitsgruppe um Miguel führte Experimente in einem gebogenen und sich gabelnden Lüftungskanal durch. Dabei zeigte sich eine erhöhte Ablagerung von Partikeln zwischen 8 - 23,2 μm bei einer Erhöhung der Luftfeuchte von 66 % auf 95 % (Miguel et al. 2004). In einem weiteren Experiment wurde der Einfluss der Luftfeuchte auf die Durchlässigkeit und Funktion von Filtern während der Beladung mit verschiedenen Partikeln im Größenbereich zwischen 0,5 μm - 1,3 μm bzw. 0,8 μm - 6 μm untersucht. Hier konnte nachgewiesen werden, dass ein Anstieg der Luftfeuchte kompaktere Gruppierungen an Partikeln im Filter erzeugte, wodurch eine erhöhte Adhäsion resultierte (Höflinger 1998, Miguel 2003). Für den Innenraum selbst wurden nur wenige Studien veröffentlicht, welche sich mit dem Zusammenhang zwischen der Luftfeuchte und den Partikeln befassten. In allen Studien zeigte sich, dass entgegen der physikalischen Annahme, mit steigenden Luftfeuchten eine Partikelfreisetzung resultierte. Die Arbeitsgruppe um Fromme führte in München Untersuchungen in meist natürlich belüfteten Schulen durch. Nach Auswertung der Daten zeigte sich, dass eine Steigerung der Luftfeuchte um 10 % einen $\text{PM}_{2,5}$ Anstieg von 1,7 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ nach sich zog (Fromme et al. 2007). Kivistö und Hakulinen stellten bei ihren Untersuchungen fest, dass die Haftung der Partikel an Teppichfasern mit steigender Luftfeuchte sank, was in einer Partikelfreisetzung resultierte. Allerdings verlor sich dieser Effekt bei Luftfeuchten über 70 % (Kivistö und Hakulinen 1981). Somit herrscht bis jetzt Uneinigkeit über den Zusammenhang zwischen der Luftfeuchte und den Partikeln (Wolkoff und Kjaergaard 2007). Der kontrovers diskutierte Einfluss der Luftfeuchte auf Partikel im Innenraum soll in diesen Auswertungen näher untersucht werden. Nach Justierung der Modelle auf klimatisierte

und natürliche belüftete Büros treten deutliche Unterschiede hervor. In klimatisierten Büros und in der Gesamtheit der Büros sind Luftfeuchten $\geq 50\%$ Quellen für höhere Konzentrationen der kleinen Partikel und wirken protektiv auf höhere Konzentrationen der großen und mittleren Partikel. Ein umgekehrtes Ergebnis stellt sich in natürlich belüfteten Räumen ein. Es zeigen sich sehr inkonsistente Ergebnisse bezüglich der Luftfeuchte und verschiedener Partikelgrößen in Abhängigkeit vom Belüftungsmodus. Wahrscheinlich resultieren diese inkonsistenten Zusammenhänge von den unterschiedlichen Cut-Points für die Luftfeuchte. In natürlich belüfteten Gebäuden ist der Cut-Point mit $\geq 38\%$ niedriger, als in klimatisierten Räumen ($\geq 55\%$). Damit sind die Ergebnisse nicht unmittelbar miteinander vergleichbar. Betrachtet man allerdings den Einfluss der Luftfeuchte unabhängig vom Belüftungsmodus, ist die Tendenz ablesbar, dass Luftfeuchten zwischen 38% bis 55% protektiv auf höhere Konzentrationen der kleinen Partikel wirken, während die Konzentrationen der mittleren und großen Partikel bei diesen Luftfeuchten erhöht sind. Damit zeigt sich kein linearer Zusammenhang zwischen der Luftfeuchte und den Partikeln. Wünschenswert wäre es deshalb, wenn nachfolgende Studien den Zusammenhang zwischen Partikeln und der Luftfeuchte weiter untersuchen.

6.7. Reinigung

Eine Reinigung der Innenraumumgebung erfolgt zur Erreichung eines akzeptablen Levels der empfundenen Sauberkeit, zum Schutz von Oberflächen, zur Vermeidung potentieller Risiken durch Infektionen von Mikroorganismen und zur Kontrolle von Staubexpositionen (Wolkoff et al.1998). Die Daten zeigen, dass eine tägliche Reinigung in klimatisierten Räumen die Chance für schlechte PAQ und höhere TVOC-Konzentrationen vergrößert. Demgegenüber wirkt in natürlich belüfteten Räumen eine tägliche Reinigung protektiv auf höhere TVOC-Konzentrationen. Damit zeigt sich ein Widerspruch bezüglich der Reinigungsfrequenz und den TVOC-Konzentrationen in klimatisierten bzw. natürlich belüfteten Räumen. Eine mögliche Erklärung für die höheren TVOC-Konzentrationen in klimatisierten Räumen bei täglicher Reinigung könnte der Einsatz von Reinigungsmitteln liefern. Die Arbeitsgruppe um Wolkoff konnte nachweisen, dass während der Reinigung VOC aus Reinigungsmitteln freigesetzt werden. Meist handelte es sich dabei um Terpene. Zudem blieben die TVOC-Konzentrationen nach der Reinigung erhöht. Diese Erhöhung erklärt sich aus einer verspäteten Emission von weniger flüchtigen Substanzen. Ferner resultierten bei nicht korrekt eingesetzten Reinigungsmitteln zusätzliche Emissionen aus den behandelten

Oberflächen (Wolkoff et al. 1995, Wolkoff et al. 1998). Somit werden höhere TVOC-Konzentration also immer während oder kurz nach der Reinigung gemessen. Allerdings widerspricht diese Aussage dem protektiven Einfluss einer täglichen Reinigung auf höhere TVOC-Konzentrationen in natürlich belüfteten Gebäuden. Denkbar wäre hier eine Beeinflussung des gefundenen Zusammenhanges durch unberücksichtigte Faktoren. Beispielsweise könnte die Reinigung in klimatisierten Gebäuden mit feuchten Methoden (Wischen) und in natürlich belüfteten Gebäuden mit trockenen Methoden (Staubsauger) durchgeführt worden sein. Damit wären die TVOC-Konzentrationen in klimatisierten Gebäuden durch den Gebrauch von Reinigungsmitteln bei täglicher Reinigung höher als in natürlich belüfteten Räumen, wodurch sich die gefundenen Ergebnisse erklären. Allerdings sind diese Überlegungen spekulativ, da sich im ProKlimA-Projekt keine Angaben zu den Reinigungsmethoden und zum Ablauf der Reinigung finden.

Aus dem Einsatz von Reinigungsmitteln könnte sich auch der Zusammenhang zwischen einer täglichen Reinigung und einer Verschlechterung der PAQ in klimatisierten Gebäuden erklären. Die Arbeitsgruppe um Támas konnte einen Zusammenhang zwischen Limonen und der PAQ nachweisen. Limonen ist ein Terpen, welches Reinigungsmitteln als Geruchsstoff bzw. Duftstoff zugesetzt wird. Es zeigte sich, dass der Geruch von Limonen ab 85 ppb wahrgenommen wird. Dieser Wert lag damit unter der aktuellen Nachweisgrenze. Mit steigender Limonen-Konzentration verschlechterte sich auch die PAQ (Támas et al. 2006). Denkbar ist deshalb, dass in klimatisierten Räumen eine Reinigung aller 2 Tage nur deshalb protektiv auf die PAQ wirkt, weil nicht täglich VOC aus den Reinigungsmitteln freigesetzt werden. Allerdings kann dieser Zusammenhang nicht überprüft werden, da im ProKlimA-Projekt keine näheren Angaben über den Einsatz von Reinigungsmitteln gemacht wurden. Aus den Ergebnissen zu den TVOC und der PAQ lässt sich schlussfolgern, dass in nachfolgende Studien Reinigungsmethoden, Art der Reinigungsmittel (mit Duftstoffen) und Ablauf der Reinigung in den Auswertungen mit berücksichtigt werden sollten.

Wie schon eingangs erwähnt, erfolgen Reinigungen auch zur Kontrolle von Staubexpositionen. Es wird angenommen, dass eine Erhöhung oder Verringerung von Fein- und Grobpartikelkonzentrationen nach Reinigungsmaßnahmen resultieren. Aus den multivariaten Auswertungen ist ablesbar, dass die Partikel im mittleren Größenbereich in natürlich belüfteten Büros bei Reinigungen aller 2 Tage erhöht sind. Bezüglich der kleinen Partikel wirkt eine aller 2 Tage durchgeführte Reinigung in klimatisierten Räumen Risiko vermindern. Einige Autoren konnten nachweisen, dass durch Reinigungsmaßnahmen (Staubsaugen,

Wischen) vor allem die Fein- ($\text{PM}_{2,5}$) und Grobpartikelkonzentrationen reduziert werden (Kamens et al. 1991, Pesonen-Leinonen et al. 2004, Fromme et al. 2007). Die Ursache dafür lag in der schnellen Sedimentation dieser Partikelgrößen. Beispielsweise brauchte ein Partikel von $10\text{ }\mu\text{m}$ Größe für 1 m etwa 3 min , während ein Partikel von $1\text{ }\mu\text{m}$ für dieselbe Strecke vier Stunden benötigte (Wolkoff et al. 1998). Auch Heudorf untermauerte in ihren Untersuchungen an Frankfurter Schulen, dass durch feuchte Reinigungsmaßnahmen (5-mal pro Woche) die Gesamtpartikelzahl von $50\text{ }\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ auf ca. $30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ vermindert werden konnte. Dabei wurden hauptsächlich Partikel $> 1,0\text{ }\mu\text{m}$ effektiv entfernt (Heudorf et al. 2007, Heudorf 2008). Allerdings konnte auch nachgewiesen werden, dass die bei Reinigungsmaßnahmen entstehenden Bewegungen große Partikel (PM_{10}) aufwirbeln konnten. Die Folge waren erhöhte Konzentrationen im Raum (Lefcoe und Inculet 1975, Thatcher und Layton 1995, Wolkoff et al. 1998, Kildestø et al. 1999, Luoma und Batterman 2001, Blondeau et al. 2005, BAFU 2006, Fromme et al. 2007). In den vorliegenden Auswertungen sind die Ergebnisse zur Reinigung sehr inkonsistent in allen Modellen. Daher kann an dieser Stelle keine Empfehlung für die notwendige Frequenz von Reinigungen gegeben werden. Allerdings zeigen die Klassenraum Auswertungen von Heudorf, dass die nach DIN geforderten Reinigungen von 2-mal pro Woche nicht ausreichen, um niedrigere Partikelkonzentrationen als in Raucherräumen zu erreichen. Heudorf empfiehlt deshalb, dass eine feuchte Reinigung 5-mal pro Woche durchzuführen ist (Heudorf 2008).

6.8. Pflanzen

Es wird vermutet, dass Pflanzen im Innenraum zur Absenkung freier Partikelkonzentrationen beitragen. Lohr und Pearson-Mims bestimmten gravimetrisch die Partikelablagerung auf horizontalen Oberflächen. Dazu führten sie Partikelmessungen in einem Raum durch, in dem Pflanzen vorhanden waren oder fehlten. Es zeigte sich, dass die Partikelablagerung niedriger war, wenn Pflanzen im Raum vorhanden waren (Lohr und Pearson-Mims 1996, Bake und Moriske 2006). Die Ergebnisse dieser Arbeit können lediglich tendenziell nachweisen, dass das Fehlen von Pflanzen im Modell für die Gesamtheit der Büros mit höheren Konzentrationen der kleinen und mittleren Partikel assoziiert ist. Damit kann die Arbeits-hypothese nicht untermauert werden.

6.9. Vliesfaktor und Regalfaktor

In der sogenannten Town Hall Studie wurden erstmals der Vliesfaktor und Regalfaktor eingesetzt. Unter Vliesoberflächen versteht man die Fläche von textilen Bodenbelägen, Vorhängen und Sitzgelegenheiten im Verhältnis zu Raumvolumen. Der Regalfaktor beschreibt die Länge von offenen Regalen und Schränken im Verhältnis zum Raumvolumen (Skov et al. 1990). Vliesoberflächen sind in der Lage, Stoffe zu binden (Adsorption) und wieder freizusetzen (Reemission). Auf Regaloberflächen können Partikel sedimentieren oder durch menschliche Aktivitäten aufgewirbelt werden (Óje et al. 1997). Es wird angenommen, dass ein großer Vliesfaktor und Regalfaktor mit höheren Partikelkonzentrationen korreliert. Ferner soll untersucht werden ob ein Zusammenhang zwischen dem Vliesfaktor und der PAQ bzw. TVOC-Konzentrationen existiert.

Nach Auswertung der Daten zeigt sich lediglich der Vliesfaktor als signifikante Einflussgröße. In klimatisierten Räumen ist ein Vliesfaktor über 38 % mit guter PAQ assoziiert. Des Weiteren ist aus den Ergebnissen ablesbar, dass in natürlich belüfteten Räumen ein Vliesfaktor unter 37 % mit höheren TVOC-Konzentrationen assoziiert ist, während ein Vliesfaktor unter 38 % in klimatisierten Gebäuden protektiv auf höhere TVOC-Konzentrationen wirkt. Beide Ergebnisse können nicht mit analogen Ergebnissen aus der Literatur verglichen werden, da bis jetzt keine Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem Vliesfaktor und der PAQ bzw. TVOC durchgeführt wurden. Allerdings zeigen einige Studien, dass verschiedene Innenraummaterialien die Ursache für schlechte PAQ und hohe TVOC-Konzentrationen sind. Dabei wurden vor allem aus Teppichen erhöhte Emission von flüchtigen Stoffen nachgewiesen. Viele Teppiche bilden zusammen große Vliesoberflächen (Chen 1990, Fang et al. 1996, Toftum et al 1998, Fang et al. 1998 a+b, Wolkoff et al. 1998, Fang et al. 2004). Vorstellbar ist deshalb eine Verschlechterung der PAQ und eine Erhöhung von TVOC-Konzentrationen bei großen Vliesoberflächen. Zudem werden gegensätzliche Wirkungen des Vliesfaktor auf höhere TVOC-Konzentrationen bei unterschiedlichen Belüftungsmodi (klimatisiert, natürlich belüftet) nachgewiesen. Da zu beiden Thematiken in der Literatur derzeit keine Studien existieren, sollten sich nachfolgende Studien anschließen, die den hier gefundenen Einfluss des Vliesfaktors auf die PAQ und TVOC weiter untersuchen. Zudem sollten Ursachen für den gegensätzlichen Einfluss des Vliesfaktors auf die TVOC-Konzentration in klimatisierten und natürlich belüfteten Räumen gefunden werden. Denkbar wäre, dass in klimatisierten Räumen andere Vliesoberflächen als in natürlich belüfteten Räumen vorhanden waren, wodurch die gefundenen Ergeb-

nisse beeinflusst wurden. Daher sollten in nachfolgenden Studien potentielle Einflüsse wie die Art der Vliesoberfläche bei den Untersuchungen mit berücksichtigt werden.

Bezüglich der kleinen Partikel ist ein großer Vliesfaktor unabhängig von der Belüftungsart mit niedrigeren Konzentrationen verbunden. Für die großen Partikel wirken textile Oberflächen als Quelle. Vergleicht man die Ergebnisse mit der Literatur, findet man widersprüchliche Aussagen bezüglich des Zusammenhanges von Vliesfaktor und Partikeln. Die Arbeitsgruppe um Skov studierte den Vliesfaktor in der theoretischen Annahme, dass eine Verbindung zwischen in der Luft vorhandenem Staub und sedimentierten Staub existiert. Dabei beschrieben sie den Vliesfaktor als bestimmender Faktor für Partikel (Skov et al. 1990). Im Widerspruch dazu stehen die Untersuchungsergebnisse von der Arbeitsgruppe um Øje. Sie konnten keinen Zusammenhang zwischen dem Vliesfaktor und Partikeln ($PM_{2,5}$, PM_{10}) nachweisen. Ihre Schlussfolgerung war, dass der Vliesfaktor kein guter Prädiktor für suspendierte Partikel ist (Øje et al. 1997). Die Ergebnisse dieser Arbeit untermauern die Ergebnissen von Skov et al. an. Es konnte eine Verbindung zwischen dem Vliesfaktor und den Partikeln nachgewiesen werden. Allerdings scheint der Einfluss des Vliesfaktors auf unterschiedliche Partikelgrößen verschieden zu sein. Die gegensätzliche Wirkung könnte durch menschliche Aktivitäten erklärt werden. Der Einfluss der Aktivitäten auf die Partikelfreisetzung steigt mit der Partikelgröße (Lefcoe und Inculet 1975, Thatcher und Layton 1995, Wolkoff et al. 1998, Kildestø et al. 1999, Luoma und Batterman 2001, Blondeau et al. 2005, BAFU 2006, Fromme et al. 2007). Diese Erkenntnis gibt Anlass zur Vermutung, dass bei einem großen Vliesfaktor eine stärkere Freisetzung von großen Partikel durch menschliche Aktivitäten resultiert. Da zu der Thematik Vliesfaktor derzeit nur wenige Daten zu finden sind, können die gefundenen Ergebnisse nur schlecht verglichen werden. Nachfolgende Studien sollten sich anschließen, welche die nachgewiesene Wirkung des Vliesfaktors auf unterschiedliche Partikelgrößen weiter untersuchen. Dabei sollten menschlichen Aktivitäten im Innenraum mit erfasst werden, um eine Beeinflussung der Ergebnisse auszuschließen.

6.10. Bürotypen

Großraumbüros werden angesichts niedriger Unterhaltungskosten bevorzugt konstruiert. Zudem fördert die Abwesenheit von physikalischen Barrieren die Kommunikation zwischen den Nutzern, was die Arbeitsmoral und Produktivität verbessert. Jedoch kamen Anfang der 70er Jahre zunehmend Berichte über den Mangel an Privatsphäre und störenden

Geräuschen in Großraumbüros auf (Hedge 1982, Brennan et al. 2002). Dabei beklagten Nutzer von Großraumbüros im Vergleich zu Nutzer von Mehrplatzbüros bzw. Einzelplatzbüros häufiger Symptome des zentralen Nervensystemes (z.B. Kopfschmerzen, Müdigkeit) und der Schleimhäute (z. B. Augen- oder Nasenreizung). Erschwerend kam hinzu, dass die Luft in Großraumbüro meist stickiger und voll unangenehmer Gerüche beschrieben wurde (Pejtersen et al. 2006). Damit sind Großraumbüros ein Risikofaktor für ungünstige Umgebungsempfindungen und Symptome (Pejtersen et al. 2006).

Aufgrund dieser Wirkung von Großraumbüros wird eine Verbindung zu den Zielgrößen gesucht. Für die PAQ kann lediglich im Modell für die Gesamtheit der Büroräume ein Verschlechterung bei Einzelplatzbüro und 2 bis 4-Mann-Büros nachgewiesen werden, weshalb nicht näher auf dieses Ergebnis eingegangen wird. Des Weiteren zeigen sich in klimatisierten 2 bis 4-Mann-Büros im Vergleich zu Großraumbüros höhere CO_2 -Konzentrationen und höhere Konzentrationen der kleinen Partikel. In der Literatur existieren keine Artikel, die den Zusammenhang zwischen Bürotypen und CO_2 bzw. Partikel beschreiben. Vorstellbar ist, dass bei den Bürotypen das Raumvolumen einen entscheidenden Einfluss besitzt. Die Arbeitsgruppe um Corsi fand bei Untersuchungen von offen gestalteten Schulräumen heraus, dass bei gleichen Luftwechselraten und Personenzahlen CO_2 -Konzentrationen bei großen Raumvolumina später ihre Maximalkonzentration erreichen als bei kleinen Raumvolumen (Corsi et al. 2002). Weiterhin konnten Fromme et al. in Schulräumen nachweisen, dass hohe CO_2 -Konzentrationen signifikant mit einem kleinen Raumvolumen assoziiert waren (Fromme et al. 2008). Zudem konnte bei den Partikeln nach Anstieg des Volumens pro Testperson um 1 m^3 ein mittlerer PM_{10} Abfall um $6,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nachgewiesen werden. Bezüglich der $\text{PM}_{2,5}$ zeigte sich ein Abfall um $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sie schlussfolgerten, dass die Partikelkonzentrationen bei kleinen Raumvolumina höher sind als bei großen (Fromme et al. 2007). Dies lässt vermuten, dass in diesen Auswertungen bei 2 bis 4-Mann-Büros die CO_2 - bzw. Partikelkonzentrationen nur deshalb höher sind als bei Großraumbüros, da 2 bis 4-Mann-Büros kleinere Raumvolumen aufweisen. Die Schlussfolgerung aus den Ergebnissen ist, dass die Größe des notwendigen Luftraumes (Raumvolumen) in Abhängigkeit von der Art der körperlichen Beanspruchung und der Anzahl der Beschäftigten bemessen werden muss.

7. Schlussfolgerung und praktische Empfehlungen

Die durch diese Arbeit gefundenen Einflussgrößen ermöglichen Empfehlungen zur Prophylaxe höherer Konzentrationen der untersuchten Variablen bzw. schlechter PAQ. Nachfolgend werden die Einflüsse zusammenfassend dargestellt.

Lüftungsmodus

Die vorliegende Studie unterstützt, mit Ausnahme der großen Partikel, den protektiven Einsatz von Klimaanlage. Allerdings kann der Risiko vermindern Effekt von Klimaanlage nur bei regelmäßigen Wartungen nachgewiesen werden. Zudem erweisen sich Induktionsanlagen als Einflussfaktoren für höhere TVOC-Konzentrationen. Die protektive Wirkung von Boden-Decke-Systeme/Quelllüftung bestätigt sich nicht.

Außenpartikelkonzentration

In klimatisierten Räumen ist der Einfluss der Außenpartikel auf ihre jeweilige Innenraumkonzentration geringer als in natürlich belüfteten Büros. Zudem kann in natürlich belüfteten Räumen, entgegen der Literatur, ein stärkerer Einfluss der großen Außenpartikel auf ihre Innenkonzentration nachgewiesen werden.

Aktivitäten der Nutzer

Rauchen ist in natürlich belüfteten Räumen mit höheren Konzentrationen der kleinen Partikel verbunden. Ein hoher Metabolismus ist eine Quelle für höhere CO₂-Konzentrationen.

Bildschirmarbeitszeit

Im Raum steigt die Anzahl der großen Partikel unabhängig vom Belüftungstyp mit verstärkter Bildschirmarbeitszeit. Zudem sind 4 bis 6 Stunden Bildschirmarbeitszeit in klimatisierten Büros mit höheren CO₂-Konzentrationen und niedrigeren Konzentrationen der kleinen Partikel verbunden.

Emissionslasten im Raum und Reinigung

Höhere CO₂-Konzentrationen, Schimmelpilzsporenkonzentrationen, Partikelkonzentrationen im mittleren Größenbereich und tägliche Reinigungsmaßnahmen sind Einflüsse für schlechte PAQ.

Lufttemperatur und Luftfeuchte

Es zeigt sich, dass in natürlich belüfteten Räumen niedrigere Luftfeuchten mit einem erhöhten Risiko für eine Verschlechterung der PAQ verbunden sind. Pro 1 °C Temperaturanstieg steigt das Risiko für höhere TVOC-Konzentrationen signifikant um 70 % an.

Vliesfaktor

Textile Oberflächen wirken als Quellen für große Partikel. Hinsichtlich der kleinen Partikel und schlechter PAQ wirkt ein Vliesfaktor über 37 % protektiv.

Bürotyp und Raumvolumen

2 bis 4-Mann-Büros sind im Vergleich zu Großraumbüros mit höheren Konzentrationen der kleinen Partikel und CO₂ assoziiert. Zudem sind kleine Raumvolumen mit höheren CO₂-Konzentrationen assoziiert.

In Übereinstimmung zur Literatur zeigen sich die Ergebnisse bezüglich der Einflussfaktoren Klimatisierung, Wartung, Außenpartikel, Rauchen und Metabolismus. Demgegenüber finden sich gegensätzliche Zusammenhänge bezüglich dem Einfluss der großen Außenpartikel auf ihre Innenpartikel und der Luftfeuchte hinsichtlich der PAQ. Die Zusammenhänge zwischen der Luftfeuchte und den Partikeln sowie den Reinigungsintervallen bzw. dem Vliesfaktor und den TVOC-Konzentrationen sind sehr inkonsistent und sollten weiter untersucht werden. Für die gefundenen Einflüsse Bildschirmarbeitszeit, Partikelkonzentration > 2,0 µm, Induktionsanlagen, Bürotyp, Reinigungsintervalle und Schimmelpilzsporen in der Raumluft existieren keine vergleichbaren Ergebnisse in der Literatur. Deshalb besteht für diese Faktoren noch Forschungsbedarf.

Die Auswertungen zeigen deutlich, dass der Einsatz von Klimaanlage der natürlichen Belüftung vorgezogen werden sollte, da dadurch die Belastung der Raumluft mit den untersuchten Zielgrößen gering ist. Zudem soll beim Betrieb von Bürogebäuden auf gut gewartete Klimaanlage geachtet werden. Von Induktionsanlagen wird als Belüftungssystem abgeraten. Ferner ist es wichtig, dass sich der Luftwechsel und das Raumvolumen an die Nutzerdichte und Nutzeraktivitäten anpassen.

8. Literatur und Quellenverzeichnis

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. 1999. Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, L163: 41 - 60.

Arbeitsstättenverordnung. 2004. Verordnung über Arbeitsstätten. Bundesministerium für Justiz.

Bake D, Moriske HJ. 2006. Untersuchung zur Freisetzung feiner und ultrafeiner Partikel beim Betrieb von Laserdruck- Geräten. Umwelt Bundes Amt.

Bako' - Biro' Z, P. Wargocki C, Weschler C, Fanger PO. 2002. Personal Computers pollute indoor air: Effects on Perceived Air Quality, SBS Symptoms and Productivity in Offices. In Levin H, Hrsg. Proceedings of Indoor Air, the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Monterey, California. Santa Cruz, 2: 249 - 254.

Bako- Biro Z, Wargocki P, Weschler CJ, Fanger PO. 2004. Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices. Indoor Air, 14: 178 - 187.

Bardana EJ. 1997. SBS - a wolf in sheep's clothing. Annals of Allergy, Asthma & Immunology, 79(4): 283 - 294.

Berglund B, Johansson I, Lindvall T. 1988. Adsorption and desorption of organic compounds in indoor materials [Vortrag]. In: Berglund B, Lindvall T, Månsson LG. Proceedings of Healthy Buildings, Abstract Guide. Stockholm, Schweden:Swedish Council for Building Research, 299 - 309.

Bischof W, Witthauer J. 1993. Man and indoor environment. Acta Academia Scientarium, 2: 111 - 145.

Bischof W, Bullinger- Naber M, Kruppa B, Schwab R, Müller BH, Hrgs. 2003. Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden- Ergebnisse des ProKlimA-Projektes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Black MS und Worthan AW. 1999. Emissions from office equipment. In:Raw G, Aizlewood C, Warren P, Hrgs. Proc of Indoor Air '99, 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate in Edingburgh, Scotland 8-13 August 1999. London: Construction Research Communications Ltd, 2: 454 - 459.

Blondeau P, Iordache V, Poupard O, Genin D, Allard F. 2005. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French Schools. Indoor Air, 15: 2 - 12.

Bluyssen PM. 1990. Air quality evaluated by a trained panel [Dissertation]. Lyngby, Kopenhagen: Technical University of Denmark.

Bluyssen PM. 1993. Do filters pollute or clean the air?. Air Infiltration Review, 14: 9 - 13

- Bluyssen PM, Cornelissen HJM, Hoogeveen AW, Wouda P, Van der Waal JF. 1996a. The effect of temperature on the chemical and sensory emission of indoor materials [Vortrag]. In: Yoshizawa S, Kimura K, Ikeda K, Tanabe S, Iwata T, Hrsg. Proceedings of Indoor Air 96, Nagoya. 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Tokyo, Japan, 3: 619 - 624.
- Bluyssen PM, de Oliveira Fernandes E, Groes L, Clausen G, Fanger PO, Valbjörn O, Bernhard CA, Roulet CA. 1996b. European indoor air quality audit project in 56 office buildings. *Indoor Air*, 6: 221 - 238.
- Bobak M, Leon DA. 1992. Air pollution and infant mortality in the Czech Republic, 1986-88. *The Lancet*, 340(8826): 1010 - 1014.
- Brauer M, Gehring U, Brunekreef B, de Jongste J, Gerritsen J, Rovers M, Wichmann H-E, Wijga A, Heinrich J. 2006. Traffic-related air pollution and otitis media. *Environmental Health Perspectives*, 114(9): 1414 - 1418.
- Brennan A, Chugh JS, Kline T. 2002. Traditional versus open office design. A longitudinal field study. *Environment and Behavior*, 34(3): 279 - 299.
- Breuer K, Mayer F, Sedlbauer K. 2006. Luftqualität und Zufriedenheit-Verbesserung von Innenraumluftqualität und Nutzerzufriedenheit durch Materialgeruchverbesserungen. *Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz*, 51(57): 49-57.
- Brockmeyer H, von Kempster D. 1992. Indoor air quality-new approaches to enhancing perceived air quality. *Klima Kälte Heizung*, 10: 378 - 381.
- Brown S-K. 1999a. Assessment of Pollutant Emissions from Dry- Process Photocopiers. *Indoor Air*, 9: 259 - 267.
- Brown S-K. 1999b. Chamber Assessment of Formaldehyde and VOC Emissions from Wood- Based Panels. *Indoor Air*, 9: 209 - 215.
- Bundesamt für Umwelt Schweiz. 2006. Feinstaub PM10. Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Massnahmen. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation..
- Burnett RT, Cakmak S, Brook JR, Krewski D. 1997. The role of particulate size and chemistry in the association between summertime ambient air pollution and hospitalization for cardiorespiratory disease. *Environmental Health Perspective*, 105: 614 - 620.
- Carrer P, Cavello D, Fustinoni S, Bruinen de Bruin Y, Vercelli F, Visigalli F, Maroni M. 2002. Exposure to Volatile Organic Compounds and Carbon Monoxide of adult Population in Milan. In Levin H, Hrsg. Proceedings of Indoor Air, the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Monterey, California. Santa Cruz, 1: 215 - 220.
- Castillejos M, Borja-Aburto VH, Dockery DW, Gold DR, Loomis D. 2000. Airborne coarse particles and mortality. *Inhalation Toxicology*, 12(1): 61 - 72.

- Chang PT, Peters LK, Ueno J. 1985. Particle size distribution of mainstream cigarette smoke undergoing dilution. *Aerosol Science and Technology*, 4: 191 - 207.
- Chang TJ, Hsieh YF, Kao HM. 2006. Numerical investigation of airflow pattern and particulate matter transport in naturally ventilated multi-room buildings. *Indoor Air*, 16: 136 - 152.
- Chao CY, Wan MP. 2004. Experimental study of ventilation performance and contaminant distribution of underfloor ventilation system versus traditional ceiling - based ventilation system. *Indoor Air*, 14: 306 - 316.
- Chen Q, Suter P, Moser A, 1990. Evaluation of indoor air quality by a perceived comfort equation. In: Walkinshaw DS, Hrgs. *Human Health, Comfort and Performance. Indoor Air '90. The 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Oxford: Pergamon Press, 1: 543 - 548.
- Clausen G. 2004. Ventilation filters and indoor air quality: a review of research from the International Centre for Indoor Environment and Energy. *Indoor Air*, 14 (7): 202 - 207.
- Corsi RL, Torres VM, Sanders M, Kinney KA. 2002. Carbon dioxide levels and dynamics in elementary schools: results of the TESIAS study. In Levin H, Hrsg. *Proceedings of Indoor Air, the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Monterey, California*. Santa Cruz, 2: 74 - 79.
- Costa DL, Dreher KL. 1997. Bioavailable transition metals in particulate matter mediate cardiopulmonary injury in healthy and compromised animal models. *Environmental Health Perspectives*, 105(5): 1053 - 1060.
- Crump DR, Madany IM. 1993. Daily variations of volatile organic compound concentrations in residential indoor air. *Indoor Air*, 2: 15 - 20.
- Cyrys J, Pitz M, Bischof W, Wichmann H, Heinrich J. 2004. Relationship between indoor and outdoor levels of fine particle mass, particle number concentrations and black smoke under different ventilation conditions. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 14(4): 275 - 283.
- Dejmek J, Selevan SG, Benes I, Solansky I, Srám RJ. 1999. Fetal Growth and Maternal Exposure to Particulate Matter during Pregnancy. *Environmental Health Perspectives*, 107(6): 475 - 480.
- Dejmek J, Solansky' I, Benes I, Lenic J, Srám RJ. 2000. The impact of polycyclic aromatic hydrocarbons and fine particles on pregnancy outcome. *Environmental Health Perspectives*, 108: 1159 - 1164.
- Destailats H, Maddalena RL, Singer BC, Hodgson AT, McKone TE. 2008. Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs. *Atmospheric Environment*, 42: 1371 - 1388.
- Diel F, Fischer M. 2000. Verunreinigung der Innenraumluft durch VOC. *Forum Wohnungsgesundheit- Fachinformation für die Gesundheitsberatung*, 1: 1 - 4.

“DIN 1946 Teil 2” Deutsches Institut für Normung. 1994. Gesundheitstechnische Anforderungen. Berlin: Beuth Verlag.

Dockery DW, Spengler JD. 1981. Indoor- outdoor relationships of respirable sulfates and particles. *Atmospheric Environment*, 15: 335 - 343.

Dockery DW, Pope 3 CA. 1994. Acute respiratory effect of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*, 15: 107 - 132.

Dockery DW. 2001. Epidemiologic Evidence of Cardiovascular Effects of Particulate Air Pollution. *Environmental Health Perspectives*, 109(4): 483 - 486.

Ekberg L. 1994. Volatile organic compounds in office buildings. *Atmospheric Environment*, 28: 3571 - 3575.

Esmen NA. 1985. The status of indoor air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 62: 259 - 265.

Fang L, Clausen G, Fanger PO. 1996. The impact of temperature and humidity on perception and emission of indoor air pollutants. In: Yoshizawa S, Kimura K, Ikeda K, Tanabe S, Iwata T, Hrsg. *Proceedings of Indoor Air 96, Nagoya. 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Tokyo, Japan, 4: 349 - 354.

Fang L, Clausen G, Fanger PO. 1998a. Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor Air*, 8(2): 80 - 90.

Fang L, Clausen G, Fanger PO. 1998b. Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposure. *Indoor Air*, 8(4): 276 - 284.

Fang L, Wargocki P, Witterseh T, Clausen G, Fanger PO. 1999. Field study on the impact of temperature, humidity and ventilation on perceived air quality. In: Raw G, Aizlewood C, Warren P, Hrsg. *Proc of Indoor Air '99, 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate in Edinburgh, Scotland 8-13 August 1999*. London: Construction Research Communications Ltd, 2: 107 - 112.

Fang L, Wyon DP, Clausen G, Fanger PO. 2004. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air*, 14(7): 74 - 81.

Fanger PO. 1988. Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy and Buildings*, 12(1): 1 - 6.

Fanger PO. 2001. Human requirements in future air-conditioned environments. *International Journal of Refrigeration*, 24: 148 - 153.

Fanger PO, Wargocki PW. 2002. Effektiver arbeiten in gesundem Raumklima. Neue Forschungsergebnisse über den Zusammenhang zwischen Raumluftqualität und menschlichem Leistungsvermögen. *Fachjournal KLIMA* 2002, 3: 36 - 41.

- Fenters JD, Bradof JN, Aranyi C, Ketels K, Ehrlich R, Gardner DE. 1979. Health effects of long-Term Inhalation of sulfuric acid mist-carbon particle mixtures. *Environmental Research*, 19: 244-257.
- Fitzner K, Finke U. 1996. EG-Audit-Project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings. In: Dompke M, Keller MB, Hrsg. *Sick Building Syndrome II Forschungsstand und -umsetzung Dokumentation*. 1. Auflage. Bonn: TGC Verlag, 30 - 51.
- Fitzner K. 1998. Sensorische Bestimmung der Luftqualität in Innenräumen und der Emissionen von Verunreinigungsquellen. *Deutscher Kälte-und Klimatechnischer Verein*, 25(4): 43-55.
- Fromme H, Twardella D, Dietrich S, Heitmann D, Schierl R, Liebl B, Rüdén H. 2007. Particulate matter in the indoor air of classrooms—exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment*, 41(4): 854 - 866.
- Fromme H, Heitmann D, Dietrich S, Schierl R, Körner W, Kiranoglu M, Zapf A, Twardella D. 2008. Raumluftqualität in Schulen - Belastung von Klassenräumen mit Kohlendioxid (CO₂), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Aldehyden, Endotoxinen und Katzenallergenen. *Das Gesundheitswesen*, 70: 88 - 97.
- Fugler D, Bowser D. 2002. Reducing particulate levels in houses. In Levin H, Hrsg. *Proceedings of Indoor Air, the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Monterey, California*. Santa Cruz, 1: 868 - 873.
- Gesundheitsamt Nürnberg. 2005. *Gesundheitliche Auswirkungen von Feinstaub Zusammenfassung des aktuellen Kenntnisstandes*, 1 - 25.
- Gehr P, Im Hof V, Geiser M, Schürch S. 2000. Der mukozilliäre Apparat der Lunge – die Rolle des Surfactant. *Schweizer Medizinische Wochenschau*, 130: 691-698.
- Girman JR. 1989. Volatile organic compounds and building bake-out. *Occupational Medicine*, 4: 695 - 712.
- Globes AI, Ananth GP, Hood AL, Schroeder JA, Lee KA. 1992. Human activities as sources of volatile organic compounds in residential environments. In: Tucker WG, Leaderer BP, Molhave L, Cain WS, Hrsg. *Annals of the New York Academy of Science*. New York: Blackwell Publishing, 641: 79 - 86.
- Goldberg MS, Burnett RT, Balar JC, Tamblyn R, Ernst P, Flegel K, Brook J, Bonvalot J, Singh R, Valois M-F, Vincent R. 2001. Identification of persons with cardiorespiratory conditions who are at risk of dying from the acute effects of ambient air particles. *Environmental Health Perspectives*, 109(4): 487 - 494.
- Grams H, Hehl O, Dreesman J. 2003. "Breathing Freely" in schools - results and model approaches concerning the air quality in classrooms. *Niedersächsisches Landesgesundheitsamt*, 65: 447 - 456.
- Gunnarsen L. 1997. The influence of area specific ventilation rate on the emissions from construction products. *Indoor Air*, 7: 116 - 120.

- He G, Yang X, Srebric J. 2005. Removal of contaminants released from surfaces by displacement and mixing ventilation: modeling and validation. *Indoor Air*, 15: 367 - 380.
- He C, Morawska L, Taplin L. 2007. Particle emission characteristics of office printers. *Environmental Science and Technology*, 41: 6039 - 6045.
- Hedge A. 1982. The open-plan office-a systematic investigation of employee reactions to their work environment. *Environment and Behavior*, 14(5): 519 - 542.
- Hellwig RT. 2005. Thermische Behaglichkeit- Unterscheide zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht [Dissertation]. München: Technische Universität.
- Henne A, Neuhaus HF, Winneke G. 1993. Das Sick Building Syndrom. In: Gesellschaft zur Förderung der Lufthygiene und Silikoseforschung, Hrsg. Umwelthygiene Band 25. Medizinisches Institut für Umwelthygiene. Jahresbericht 1992/1993. Essen: Girardet Verlag, 74 - 97.
- Hessischer Landtag. 2005. Antwort der Landesregierung auf die große Anfrage der Abgeordneten Heidel, Posch (FDP) und Fraktion betreffend Ursachen des Auftretens und Möglichkeiten der Beeinflussung der Feinstaubproblematik in Hessen. Drucksache 16/3957.
- Heudorf U, Neitzert V, Spark J. 2007. Particulate matter and carbon dioxide in classrooms - The impact of cleaning and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, article in press.
- Heudorf U. 2008. Feinstaubbelastung in Schulen – Untersuchungsergebnisse und Lösungsansätze am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main. *Das Gesundheitswesen*, 70(4): 231 - 238.
- Heyden vdT. Alker M. 2008. Technischer Nichtraucherchutz in Innenräumen. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft*, 68(3): 97 - 101.
- Hitchins J, Morawska L, Wolff R, Gilbert D. 2000. Concentrations of submicrometre particles from vehicle emissions near a major road. *Atmospheric Environment*, 34: 51 - 59.
- Höflinger W. 1998. Fundamental of the compression behavior of dust filter cakes. In: Spurný KE, Hrsg. *Advances in aerosol filtration*. Chelsea : Lewis Publisher Inc, 349 - 360.
- Horemans B, Worobiec A, Buczynska A, Van Meel K, Van Grieken R. 2008. Airborne particulate matter and BTEX in office environments. *Journal of Environmental Monitoring*, 10: 867 - 876.
- Horvath EP. 1997. Building related illness and sick building syndrome: from the specific to the vague. *Cleveland Clinical Medicine*, 64(6): 303 - 309.
- Hujanen M, Seppänen O, Pasanen P. 1991. Odor Emission from used filters of air-handling units. In: ASHRAE, International Council for Building Research, Hrsg. *Atlanta: Indoor Air Quality '91 Healthy Buildings. Proceedings of the conference held September 4-8, Washington DC*, 329 - 333.

- Hussein T. 2005. Indoor and outdoor aerosol particle size characteriazation in Helsinki [Dissertation]. Helsinki: University of Helsinki.
- Huber G. Wanner HU. 1981. Raumluftqualität und Lüftung. Sozial- und Präventivmedizin, 26: 175 - 177.
- Illgen E, Karfich N, Levsen K, Angerer J, Schneider P, Heinrich J, Wichmann H-E, Dune-mann L, Begerow J. 2001. Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment: Part I. Indoor versus outdoor sources, the influence of traffic. Atmospheric Environment, 35: 1235 - 1252.
- Janssen NAH, Schwartz J, Zanobetti A, Suh HH. 2002. Air conditioning and source - specific particles as modifiers of the effect of PM₁₀ on hospital admission for hearth and lung disease. Environmental Health Perspectives, 110(1): 43 - 49.
- Järnström H, Saarela K, Kalliokoski P, Pasanen AL. 2008. Comparison of VOC and ammonia emissions from individual PVC materials, adhesives and from complete structures. Environment International, 34(3): 420 - 427.
- Kamens R, Lee C, Wiener R, Leith D. 1991. A study to characterize indoor particles in three non smoking homes. Atmospheric Environment, 25 (5-6): 939 - 948.
- Kildestø J, Vallarino J, Spengler JD, Brightman HS, Schneider T. 1999. Dust built-up on surfaces in the indoor environment. Atmospheric Environment, 33: 699 - 707.
- Kivistö T, Hakulinen J. 1981. Der Staubgehalt der Luft in Räumen mit textilen Fußbodenbelägen. Staub- Reinhaltung der Luft, 41: 357 - 358.
- Klemm RJ, Mason RM, Heilig CM, Neas LM, Dockery DW. 2000. Is daily mortality specifically with fine particles? Journal of the Air and Waste Management Association, 50: 1215 - 1222.
- Klepeis NE, Apte MG, Gundel LA, Sextro RG, Nazaroff WW. 2003. Determining Size-Specific Emission Factors for Environmental Tobacco Smoke Particles. Aerosol Science and Technology, 37(10): 780 - 790.
- Koponen IK, Asmi A, Keronen P, Puhto K, Kulmala M. 2001. Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999-the effect of outdoor air pollution on indoor air. Atmospheric Environment, 35: 1465 - 1477.
- Kreyling WG, Scheuch G. 2000. Clearance of particles deposited in the lungs. In: Gehr P, Heyder J, Hrgs. Particle-Lung Interactions. New York: Marcel Dekker, Inc, 323-376.
- Kreyling WG, Semmler M, Möller W. 2006. Ultrafeine Partikel und ihre Wirkung auf die menschliche Gesundheit. Umweltbundesamt-Expertenworkshop „Verkehrsbedingte Feinstäube in der Stadt, 19-21.

- Lam S, Lee SC. 2000. Characterisation of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office printers in an environmental chamber (497) [Vortrag]. In: Seppänen O, Säteri J, Hrgs. Materials, design and construction. Proceedings of Healthy Buildings. Iyväskylä, Finnland: Gummerus Kirjapaino Oy, 4: 429 - 434.
- Leaderer BP, Cain SW, Isseroff R, Berglund LG. 1984. Ventilation requirements in buildings. II: Particulate matter and carbon monoxide from cigarette smoking. *Atmospheric Environment*, 18: 99 - 106.
- Lee SC, Ghaly W, Haghighat F. 2000. VOC emissions from diffusion- controlled building materials: analogy with conjugate heat transfer [Vortrag]. In: Seppänen O, Säteri J, Hrgs. Materials, design and construction. Proceedings of Healthy Buildings. Iyväskylä, Finnland: Gummerus Kirjapaino Oy, 4: 163 - 168.
- Lee SC, Lam S, Fai HK. 2001. Characterisation of VOCs, ozone and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber. *Building and Environment*, 36(7): 837 - 842.
- Lefcoe NM, Inculet II. 1975. Particulates in domestic premises. II. Ambient levels and indoor-outdoor relationships. *Archives Environmental Health*, 30: 565 - 570.
- Letz GA. 1990. Sick Building Syndrome: Acute Illness among office workers- the role of building ventilation, air contaminants and work stress. *Allergy and Asthma Proceedings*, 3: 109 - 116.
- Li XY, Brown D, Smith S, MacNee W, Donaldson K. 1999. Short- term inflammatory responses following intratracheal installation of fine and ultrafine carbon black in rats. *Inhalation Toxicology*, 11: 709 - 731.
- Lipfert FW, Morris SC, Wyzga RE. 2000. Daily mortality in Philadelphia metropolitan area and size- classified particulate matter. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 50: 1501 - 1513.
- Litvak A, Gadgil AJ, Fisk WJ. 2000. Hygroscopic Fine Mode Particle Deposition on Electronic Circuits and Resulting Degradation of Circuit Performance: An Experimental Study. *Indoor Air*, 10(1): 47 - 56.
- Lohr VI, Pearson-Mims CH. 1996. Particulate matter accumulation on horizontal surfaces in interiors: Influence of foliage plants. *Atmospheric Environment*, 30 (14): 2565 - 2568.
- Luoma M, Batterman SA. 2001. Characterization of particulate emissions from occupant activities in offices. *Indoor Air*, 11: 35 - 48.
- Maroni M, Levy F. 1992. Definitions. In: Levy F, Maroni M, Hrgs. NATO/ CCMC Pilot study on indoor air quality. 4th plenary meeting. Epidemiology and medical management of building-related complaints and illness. Report on a meeting held in Oslo. Oslo, Norway: National Institute of occupational Health, 160 - 161.
- Maroni M, Seifert B, Lindvall T. 1995. *Indoor Air Quality: a Comprehensive Reference Book Volume 3*. Amsterdam, New York: Elsevier Verlag.

- Matson U. 2004. Indoor and outdoor concentrations of ultrafine particles in some Scandinavian rural and urban areas. *Science of the Total Environment*, 343: 169 - 176.
- Mauderly JL. 1996. Usefulness of animal models for predicting human responses to long-term Inhalation of particles. *Chest*, 109(3): 65S - 68S.
- Miguel AF. 2003. Effect of air humidity on the evolution of permeability and performance of a fibrous filter during loading with hygroscopic and non- hygroscopic particles. *Journal of Aerosol Science*, 34: 783 - 799.
- Miguel AF, Reis AH, Aydin M. 2004. Aerosol particle deposition and distribution in bifurcating ventilation ducts. *Journal of Hazardous Materials*, 116(3): 249 - 255.
- Møhlhave L. 1986. Indoor air quality in relation to sensory irritation due to volatile organic compounds. Paper 2954. *Transactions American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers*, 92: 306 - 316.
- Møhlhave L. 1991. Volatile organic compounds, indoor air quality and health. *Indoor Air*, 4: 357 - 376.
- Morrison GC, Nazaroff WW, Cano-Ruiz JA, Hodgson AT, Modera MP. 1998. Indoor air quality impacts of ventilation ducts: ozone removal and emissions of volatile organic compounds. *J Air Waste Management Association*, 48: 941 - 952.
- Müller D, Bitter F, Böttcher O, Kasche J, Müller B. 2004. Neue Systematik zur Bewertung der empfundenen Luftqualität. *Zeitschrift für Heizung, Lüftung, Klimatechnik, Haustechnik*, 55(12): 52 - 57.
- Nazaroff WW, Salmon LG, Cass GR. 1990. Concentration and Fate of Airborne Particles in Museums. *Environmental Science Technology*, 24: 66 - 77.
- Nazaroff WW. 2004. Indoor particle dynamics. *Indoor Air*, 14(7): 175 - 183.
- Norheim C, Sheldon L, Whitaker D, Hetes B, Calcani J. 1998. Indoor air emissions from office equipment: Test method development and pollution prevention opportunities. US Environmental Protection Agency, Hrgs. Research and Development. EPA-600/R-98-080.
- Oberdörster G, Ferin J, Lehnert BE. 1994. Correlation between particle size, in vivo particle persistence, and lung injury. *Environmental Health Perspectives*, 102(5): 173 - 179.
- Øie L, Magnus P, Johansen BV. 1997. Suspended particulate matter in norwegian dwellings in relation to fleece and shelf factors, domestic smoking, air exchange rate and presence of hot wire convection heaters. *Environment International*, 23(4): 465 - 473.
- Osier M, Oberdörster G. 1997. Intratracheal inhalation versus intratracheal instillation: differences in particle effects. *Fundamental Application Toxicology*, 40: 220 - 227.
- Owen MK, Ensor DS, Sparks LE. 1992. Airborne particle sizes and sources found in indoor air. *Atmospheric Environment*, 12: 2149 - 2162.

- Partti-Pellinen K, Marttila O, Ahonen A, Suominen O, Haahtela T. 2000. Penetration of Nitrogen Oxide and Particles from Outdoor into Indoor Air and Removal of the Pollutants through Filtration of Incoming Air. *Indoor Air*, 10: 126 - 132.
- Pasanen PO, Teijonsalo J, Seppänen O, Ruuskanen J, Kalliokoski P. 1994. Increase in perceived odor emission with loading of ventilation filters. *Indoor Air*, 4: 106 - 113.
- Pasanen T, Keskikuru T, Ridell J, Pasanen P. 2002. Indoor Air quality and the Adequacy of Cleaning in 25 Finnish Schools. In Levin H, Hrsg. Santa Cruz: Proceedings of Indoor Air, the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Monterey, California, 3: 78 - 91.
- Pejtersen J, Blysson P, Kondo H, Clausen G, Fanger PO. 1989. Air pollution sources in ventilation systems. In: Novak P, Todorović B, Kulić E, Hrsg. Proceedings of Clima 2000 World Congress on Heating, Refrigerating and Air Conditioning. Air Conditioning Components and Systems. Yugoslav Committee of Heating, Refrigerating and Air Conditioning and Union of Mechanical and Electrical Engineers and Technicians of Serbia. Metem, Beograd, 3: 139 - 144.
- Pejtersen J. 1996a. Sensory pollution and microbial contamination of Ventilation filters. *Indoor Air*, 6: 239 - 248.
- Pejtersen J. 1996b. Sensory pollution caused by rotary heat exchangers [Vortrag]. In: Yoshizawa S, Kimura K, Ikeda K, Tanabe S, Iwata T, Hrsg. Proceedings of Indoor Air 96, Nagoya. 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Tokyo, Japan, 3: 459 - 464.
- Pejtersen J, Brohus H, Hyldegaard CE. 1999. The effect of renovating an office building on occupants comfort and health [Vortrag]. In: Raw G, Aizlewood C, Warren P, Hrsg. Proc of Indoor Air '99, 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate in Edinburgh, Scotland. London: Construction Research Communications Ltd, 2: 160 - 165.
- Pejtersen J, Allermann L, Kristensen TS, Poulsen OM. 2006. Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. *Indoor Air*, 16: 392 - 401.
- Penttinen P, Timonen KL, Tiittanen P, Mirme A, Ruuskanen J, Pekkanen J. 2001. Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics. *European Respiratory Journal*, 17: 428 - 435.
- Pesonen - Leinonen E, Tenitz S, Sjöberg AM. 2004. Surface dust contamination and perceived indoor environment in office buildings. *Indoor Air*, 14: 417 - 424.
- Peters A, Wichmann HE, Tuch T, Heinrich J, Heyder J. 1997. Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 155: 1376 - 1383.
- Petrovitch A. 1996. Sick-Building-Syndrome. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*, 3: 143 - 150.

- Pettenkofer v. M, Hrsg. 1858. Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. Stuttgart, Augsburg: J.G. Cotta'sche Buchhandlung, 75 - 78.
- Pflaumbaum W, Kleine H, Barig A, Nies E, Blome H. 2003. BIA- Report 2/2003. Grenzwertliste 2003. Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit. Chemische Einwirkungen. In: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Hrsg. Rheinbreitbach: Druckerei Plump OHG, 186 - 199.
- Pluschke P, Hrsg. 1996. Luftschadstoffe in Innenräumen- ein Leitfaden. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath CW. 1995. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. Adults. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 151(3): 669 - 674.
- Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. Journal of the American Medical Association, 287: 1132 - 1141.
- Rasmussen C, Clausen GH, Berg-Munch B, Fanger PO. 1985. The influence of human activity on ventilation requirements for the control of body odor, In: Novak P, Todorović B, Kulić E, Hrsg. Proceedings of Clima 2000 World Congress on Heating, Refrigerating and Air Conditioning. Air Conditioning Components and Systems. Yugoslav Committee of Heating, Refrigerating and Air Conditioning and Union of Mechanical and Electrical Engineers and Technicians of Serbia. Metem, Beograd, 4: 357 – 362.
- Reinikainen LM, Aunela-Tapola L, Jaakkola JJ. 1997. Humidification and perceived indoor air quality in the office environment. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 54(5): 322 - 327.
- Rom WN, Markowitz SB. 2007. Environmental and Occupational Medicine. In: Rom WN, Hrsg. Philadelphia: Wolter Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 4: 182-183.
- Rothe T. 2006. Feinstaub - facts und fiction. Schweizer Medizinisches Forum, 6: 842-848.
- Rothweiler H, Wager PA, Schlatter C. 1992. Volatile organic compounds and some very volatile organic compounds in new and recently renovated buildings in Switzerland. Atmospheric Environment, 26: 2219 - 2225.
- Sakr W, Knudsen HN, Gunnarsen L, Haghighat F. 2003. Impact of varying area of polluting surface materials on perceived air quality. Indoor Air, 13: 86 - 91.
- Scheff PA, Paulius VK, Huang SW, Conroy LM. 2000. Indoor Air Quality in a Middle School, Part I: Use of CO₂ as a tracer for Effective Ventilation. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 15(11): 824 - 834.
- Schleibinger H. Rüden H. 1999. Air filters from HVAC systems as possible source of volatile organic compounds (VOC)} - laboratory and field assay. Atmospheric Environment, 33: 4571 - 4577.

- Schneider T, Nilsen SK, Dahl I. 1994. Cleaning methods, their effectiveness and airborne dust generation. *Building and Environment*, 29(3): 369 - 372.
- Schramek ER, Hrgs. 2003. Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 71. Auflage. München: Oldenbourg Industrieverlag, 1261 - 1287.
- Schwartz J. 1994. What are people dying of on high air pollution days. *Environmental Research*, 64: 26 - 35.
- Schwartz J. 1996. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology*, 7(1): 20 - 28.
- Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. 1996a. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of the Air and Waste Management Association*, 46(10): 927 - 939.
- Schwartz J, Dockery D, Neas L. 1996b. Which particles are responsible for the association with daily deaths? *American Journal Of Respiratory and Critical Care Medicine*, 153(3): A16.
- Schwartz J, Neas LM. 2000. Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren. *Epidemiology*, 11: 6 - 10.
- Schwarzberg MN. 1993. Carbon dioxide levels as migraine threshold factor: hypothesis and possible solutions. *Medical Hypotheses*, 41: 35 - 36.
- Seifert B. 1990a. Flüchtige organische Verbindungen im Innenraum. *Bundesgesundheitsblatt*, 33: 111 - 114.
- Seifert B. 1990b. Regulating indoor air [Vortrag]. In: Walkinshaw DS, Hrgs. . *Indoor Air '90. The 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Oxford: Pergamon Press, 5: 35 - 49.
- Seifert B. 1991. Das „Sick-Building-Syndrom“. *Öffentliches Gesundheits- Wesen*, 53: 376 - 382.
- Seifert B. 1999. Richtwerte für die Innenraumluft: Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 42: 270 - 278.
- Seppänen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. 1999. Association of ventilation rates and CO₂-concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9(4): 252 - 274.
- Seppänen OA, Fisk WJ. 2004. Summary of human response to ventilation. *Indoor Air*, 14(7): 102 - 118.
- Shaughnessy RJ, Weschler CJ, McDaniels T. 1999. Indoor chemistry: Ozone & tobacco smoke. *Indoor Air*, 2: 882 - 887.
- Shehabi A, Horvath A, Tschudi W, Gadgil AJ, Nazaroff WW. 2008. Particle concentrations in data centers. *Atmospheric Environment*, 42: 5978 – 5990.

- Shields HC, Weschler CJ. 1992. Volatile organic compounds measured at a telephone switching center from 5/30/85-12/6/88. *Journal of the Air Waste Management Association*, 42: 792 - 804.
- Sippola MR, Nazaroff WW. 2002. Modeling particle deposition in ventilation ducts. In Levin H, Hrsg. *Proceedings of Indoor Air, the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Monterey, California*. Santa Cruz, 1: 515 - 520.
- Skov P, Valbjörn O, Pedersen B. 1990. Influence of indoor climate on the sick building syndrome in an office environment. The Danish Indoor Climate Study Group. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 16(5): 363 - 371.
- Slezakova K, Pereira MC, Alvim-Ferraz MC. 2009. Influence of tobacco smoke on the elemental composition of indoor particles of different sizes. *Atmospheric Environment*, 43(3): 486 - 493.
- Sollinger S, Levsen K, Wunsch G. 1994. Indoor pollution by organic emissions from textile floor coverings. Climatic chamber studies under static conditions. *Atmospheric Environment*, 28: 2369 - 2378.
- Sunesson A-L, Vaes WHJ, Nilsson C-A, Blomquist G, Andersson B, Carlson R. 1995. Identification of Volatile Metabolites from Five Fungal Species Cultivated on Two Media. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(8): 2911 - 2918.
- Sunesson A-L, Nilsson C-A, Andersson B, Blomquist G. 1996. Volatile metabolites produced by two fungal species cultivated on building materials. *American Occupational Hygiene*, 40(4): 397 - 410.
- Támas G, Weschler CJ, Toftum J, Fanger PO. 2006. Influence of ozone-limonene reactions on perceived air quality. *Indoor Air*, 16: 168 – 178.
- Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 900). 2001. Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz–Luftgrenzwerte. Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. *Bundesarbeitsblatt*, 9: 86 - 96.
- Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 900). 2006. Technische Regeln für Gefahrstoffe-Arbeitsplatzgrenzwerte. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 1: 22.
- Thatcher TL, Layton DW. 1995. Deposition, Resuspension and penetration of particles within a residence. *Atmospheric Environment*, 29: 1487 - 1497.
- Thorstenon EC, Hansen C, Pejtersen J, Clausen G, Fanger PO. 1990. Air pollution sources and indoor air quality in schools. . In: Walkinshaw DS, Hrsgs. *Human Health, Comfort and Performance. Indoor Air '90. The 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Oxford: Pergamon Press, 1: 531 - 536.
- Toftum J, Jørgensen AS, Fanger PO. 1998. Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort. *Energy and Buildings*, 28: 15 - 23.

- Turiel I, Hollowell CD, Miksch RR, Rudy JV, Young RA, Coye MJ. 1983. The impact of reduced ventilation on indoor air quality in an office building. *Atmospheric Environment*, 17: 51 - 64.
- Tyndall RL, Lehmann ES, Bowman EK, Milton DK, Barbaree JM. 1995. Home humidifiers as a potential source of exposure to microbial pathogens, endotoxins and allergens. *Indoor Air*, 5:171 - 178.
- US Environmental Protection Agency. 1987. Revision of the national ambient air quality standards for particulate matter. In: United States Environmental Protection Agency, Hrgs.. Washington: Federal Register, 52: 24634 - 24669.
- US Environmental Protection Agency. 1997. National ambient air quality standards for particulate matter; final rule. 40 CFR, part 50. In: United States Environmental Protection Agency, Hrgs. Washington: Federal Register, 62(138): 38651 - 38701.
- US Environmental Protection Agency. 2002. Air Quality Criteria for Particulate Matter. (Third external review draft). In: United States Environmental Protection Agency, Hrgs. Washington: Federal Register.
- US Environmental Protection Agency. 2004. Air Quality Criteria for Particulate Matter, Volume 1 and 2. In: United States Environmental Protection Agency, Hrgs. Washington: Federal Register.
- US Environmental Protection Agency. 2005. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Final staff. In: United States Environmental Protection Agency, Hrgs. Washington: Federal Register.
- Wainman T, Zhang J, Weschler CJ, Liou. 2000. Ozone and Limonene in indoor air: a source of submicron particle exposure. *Environmental Health Perspectives*, 108(12): 1139 - 1145.
- Wallace L. 1996a. Indoor particles: a review. *Journal of the Air Waste Management Association*, 46: 98 - 126.
- Wallace L. 1996b. Environmental Exposure to Benzene: An update. *Environmental Health Perspective*, 104(6): 1129 - 1136.
- Wanner HU. 1982. Indoor air pollution produced by man (carbon dioxide, odours). *Schriftenreihe Verlag Wasser Boden Lufthygiene*, 53: 11 - 16.
- Wargocki P, Fanger PO. 1997. Impact of changing the floor material on air quality in an office building. In: Woods JE, Grimsrud DT, Boschi N, Hrsg. Office and public assembly buildings. *Proceedings of Healthy Buildings/IAQ'97*, Global Issues and regional solutions. Washington DC, 2: 243 - 248.
- Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, Clausen G, Fanger PO. 2000. The effect of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrom (SBS) Symptoms and Productivity. *Indoor Air*, 10: 222 - 236.

Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppänen O, Wouters P. 2002. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air*, 12:113 - 128.

Wargocki P, Bako- Biro Z, Bagiuska S. 2003. Sensory emission rates from personal computers and television sets. In: Wai TK, Sekhar C, Cheong D, Hrgs. *Energy Efficient Healthy Buildings*. Singapore: Healthy Buildings 2003, Proceedings of ISAQ the 7th International Conference, 3: 169 - 175.

Wargocki P. 2004. Sensory pollution sources in Buildings. *Indoor Air*, 14(7): 82 - 91.

Weiß C, Hrgs. 2005. *Basiswissen medizinische Statistik*. 3. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

Weschler C, Hodgson AT, Wooley JD. 1992. Indoor chemistry: ozone, volatile organic compounds, and carpets. *Environmental Science Technologie*, 26 (12): 2371 - 2377.

Weschler CJ, Shields HC, Naik DV. 1993. An evaluation of activated carbon filters for the control of ozone, sulfur dioxide, and selected volatile organic compounds. In: American Society of Heating, Refrigeration and Air- Conditioning Engineers, Hrgs. *Environments for people*, IAQ 92. Atlanta, Ga: ASHRAE, 233 - 240.

Weschler CJ, Shields HC. 1999. Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles. *Atmospheric Environment*, 33: 2301 - 2312.

Weschler CJ. 2000. Ozone in indoor environments: concentration and chemistry. *Indoor Air*, 10(4): 269 - 288.

WHO 1983. *Indoor Air Pollutants- Exposure and Health effects*; report on a WHO meeting, Nördlingen, 8 - 11 June 1982. Euro reports and studies; 78. Kopenhagen, Dänemark: World Health Organization, Regional Office for Europe.

WHO. 1989. *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. Report on a WHO meeting, Berlin (West), 23 - 27 August 1987. Euro Reports and Studies No. 111. Kopenhagen, Dänemark: World Health Organization, Regional Office for Europe.

WHO 2000. *Guidelines for Air Quality*. Geneva, Schweiz: World Health Organization.

WHO. 2003. *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Report on WHO working group, Bonn, Germany, 13 - 15 January 2003. Kopenhagen, Dänemark: World Health Organization, Regional Office for Europe.

WHO. 2004. *Health aspects of air pollution – answer to follow- up questions from CAFE*. Report on a WHO working group meeting Bonn, Germany, 15–16 January 2004. Kopenhagen, Dänemark: World Health Organization, Regional office for Europe.

WHO. 2005. *WHO air quality guidelines global update*. Report on a WHO working group meeting Bonn, Germany 18-20 October 2005. Kopenhagen, Dänemark: World Health Organization, Regional Office for Europe.

Wichmann H-E, Spix C, Tuch T, Wolke G, Peters A, Heinrich J, 2000. Daily Mortality and Fine and Ultrafine Particles in Erfurt, Germany. Part I: Role of Particle Number and Particle Mass. Health Effects Institute, Cambridge MA, Hrgs. Research Report. North Andover MA: Flagship Press, 98: 5 - 86.

Wichmann E. 2003. Abschätzung positiver Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern in Dieselfahrzeugen. Studie im Auftrag des Bundesamt, Berlin.

Wikipedia. www.wikipedia.de/Feinstaub.

Withey JR. 1989. A critical review of the health effects of atmospheric particulates. *Toxicology and Industrial Health*, 5(3): 519 - 554.

Wolkoff P, Clausen PA, Nielsen PA, Møhlhave L. 1991. The Danish Twin Apartment Study; Part I: Formaldehyde and Long Term VOC Measurements. *Indoor Air*, 4: 478 - 490.

Wolkoff P, Wilkins CK, Clausen PA, Larsen K. 1993. Comparison of volatile organic compounds from processed paper and toners from office copiers and printers: methods, emission rates, and modeled concentrations. *Indoor Air*, 3(2): 113 - 123.

Wolkoff P, Wilkins CK. 1994. Indoor VOCs from household floor dust: Comparison of headspace with desorbed VOCs; Method for VOC release determination. *Indoor Air*, 4: 248 - 254.

Wolkoff P, Clausen PA, Nielsen PA. 1995. Application of field and laboratory emission cell 'FLEC' - performance study, intercomparison study, and case study of damaged linoleum. *Indoor Air*, 5(3): 196 - 203.

Wolkoff P. 1996. Characterisation of emissions from building products: Long term chemical evaluation. The impact of air velocity, temperature, humidity, oxygen, and batch/repeatability in the FLEC. In: Yoshizawa S, Kimura K, Ikeda K, Tanabe S, Iwata T, Hrsg. *Proceedings of Indoor Air 96, Nagoya. 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Tokyo, Japan, 1: 579 - 584.

Wolkoff P, Clausen PA, Jensen B, Nielsen GD, Wilkins CK. 1997. Are we measuring the relevant indoor Pollutants? *Indoor Air*, 7: 92 - 106.

Wolkoff P, Schneider T, Kildesø J, Degerth R, Jaroszewskic M, Schunk H. 1998. Risk in cleaning: chemical and physical exposure. *The Science of the Total Environment*, 215 (1-2): 135 - 156.

Woods JE. 1989. Cost avoidance and productivity in owning and operating buildings. *Occupational Medicine*, 4: 753 - 770.

Yang X, Chen Q. 2001. A coupled airflow and source/sink model for simulating indoor VOC exposures. *Indoor Air*, 11: 257 - 269.

9. Anhang

Tabelle 19: Deskriptive Darstellung der Variablen CO₂ (C_CO₂K [ppm]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75 Perc.	90.Perc	% > 75 Perc	CO₂k p
CO ₂	Insgesamt	611	639	272,9	565	760	969	23,9	
Gebäudebezogene Daten									
CO ₂ -Außenkonzentration	Niedrig	282	684	271,8	623	830	1031	33,0	0,000
	Hoch	95	533	133,9	490	625	744	7,4	
Jahreszeit	Kalte Jahreszeit	179	775	300,8	710	860	1050	41,3	0,000
	Warme Jahreszeit	432	583	239,4	490	669	929	18,3	
Untersuchungsdatum	Frühling	312	615	220,5	565	733	920	23,1	0,000
	Sommer	83	528	137,6	485	620	753	8,4	
	Herbst	113	617	299,0	495	720	983	23,0	
	Winter	103	829	367,5	740	920	1308	46,6	
Gebäudeteilbezogene Daten									
Lage	Großstadt - Zentrum	257	643	301,9	530	755	977	24,9	0,000
	Großstadt - Vorstadt/Land	176	534	145,7	485	625	760	10,2	
	Kleinstadt	178	738	288,2	680	900	1120	39,9	
Anlagenbezogene Daten									
Lüftungsprinzip	Fenster	291	795	306,0	735	920	1160	46,0	0,000
	Mischlüftung	202	479	110,4	445	510	643,5	3,5	
	Verdrängung	41	657	141,3	620	760	855	26,8	
	Quellluft	77	464	72,6	460	500	553	1,3	
Luftführung im Raum ¹⁾	Decke-Decke	85	461	74,2	445	492,5	562	0,0	0,000
	Boden-Decke	65	576	157,3	570	682,5	824	13,8	
	Induktion	92	507	140,2	455	596	747	7,6	
	Quellluft	77	464	72,6	460	500	553	1,3	
Art der Luftverteilung	Fenster	292	794	306,3	735	920	1160	45,9	0,000
	1-Kanal Anlage	141	530	130,4	495	600	714	8,5	
	2-Kanal Anlage	41	442	53,1	440	470	529	0,0	
	Induktionsanlagen	137	483	122,4	450	500	667	5,1	
Klimaanlage	Nein	291	795	306,0	735	920	1160	46,0	0,000
	Ja	320	498	123,2	460	550	680	5,9	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 19

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75 Perc.	90.Perc	% > 75 Perc	CO ₂ k p
Klimaanlagenart	Keine Klimaanlage	291	795	306,0	735	920	1160	46,0	0,000
	Teilklimaanlage	81	649	129,5	620	745	828	22,2	
	Vollklimaanlage	238	447	66,1	440	475	526	0,4	
Beurteilung	Gut	103	529	142,9	480	600	760	10,7	0,010
Wartung	Schlecht	217	484	110,1	450	515	641	3,7	
Wartungszustand der Anlage	Gut	95	554	142,9	530	620	774	12,6	0,000
	Schlecht	225	475	105,8	445	497	629	3,1	
Außen-Luftansaugung	Ok	137	518	133,8	475	595	716	8,8	0,018
	Zu beanstanden	183	483	112,8	455	500	645	3,8	
Wartungszustand	Gut / befriedigend	130	519	137,4	473	600	720	9,2	0,047
Außenluftansaugung	Ausreichend	149	493	119,8	460	538	675	4,7	
	Mangelhaft	41	449	56,0	445	490	529	0,0	
Raumbezogene Daten									
Luftwechsel	< 1 Luftwechsel /h	136	828	369,8	745	920	1326	48,5	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	79	526	133,1	490	565	770	11,4	
	< 3 Luftwechsel /h	44	459	91,6	440	470	583	2,3	
	3 - 11 Luftwechsel /h	14	453	100,8	435	491	640	0,0	
Mittlerer Luftwechsel ¹⁾	< 1 Luftwechsel /h	14	615	205,3	648	798	875	42,9	0,003
	< 2 Luftwechsel/ h	73	512	119,7	480	558	732	8,2	
	< 3 Luftwechsel /h	44	459	91,6	440	470	583	2,3	
	3 - 11 Luftwechsel /h	13	437	84,6	430	448	612	0,0	
Bürotyp	Großraumbüro	145	526	148,1	470	598	774	11,7	0,000
	2 - 4-Mann-Büro	396	694	300,1	628	830	1035	31,8	
	Einzelraumbüro	56	561	223,5	488	633	842	12,5	
Personen und Arbeitsplatzbezogene Daten									
Bildschirmarbeitszeit	0 - 2 h	191	618	300,3	495	710	963	19,4	0,000
	2 - 4 h	137	626	263,0	530	723	1016	22,6	
	4 - 6 h	253	671	260,5	620	790	963	30,8	
Metabolismus	Niedrig	252	615	242,4	538	724	939	21,0	0,195
	Hoch	352	658	293,1	595	775	1004	27,8	
Raumvolumen pro Person	Klein	144	743	329,9	660	828	1058	36,1	0,000
	Mittel	313	647	265,5	570	765	1000	26,5	
	Hoch	147	526	168,6	460	595	774	10,9	

p für dichotome Variablen durch U-Test nach Mann und Whitney

p für kategoriale Variablen durch H- Test nach Kruskal und Wallis

1) = Die deskriptive Darstellung der anlagenbezogenen Variablen „Luftführung im Raum“ erfolgt ausschließlich für klimatisierte Büros.

Anhang

Dazu wird ein auf klimatisierte Messplätze reduzierter Datensatz erstellt.

Tabelle 20: Deskriptive Darstellung der Variablen PAQ (C_DPOL [decipol]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	ST D	M	75.Perc c	90 Perc	% > 7 5 Perc	C_DPOL p
PAQ	Insgesamt	601	5,06	2,12	4,50	6,00	8,00	23,5	
Gebäudebezogene Daten									
Jahreszeit	Kalte Jahreszeit	172	6,16	2,31	6,00	7,55	9,37	51,2	0,000
	Warme Jahreszeit	429	4,62	1,86	4,00	5,25	7,00	23,3	
Empfundene Außenluftqualität	Gut	366	4,92	2,10	4,40	6,00	7,58	27,0	0,000
	Schlecht	138	5,69	2,25	5,05	7,60	8,92	47,8	
Untersuchungsdatum	Frühling	311	4,70	1,74	4,30	5,40	7,00	21,5	0,000
	Sommer	82	4,57	2,10	4,00	5,00	7,70	23,2	
	Herbst	111	4,33	1,60	3,90	5,00	7,00	18,9	
	Winter	97	7,48	2,11	7,00	8,95	10,38	83,5	
Gebäudeteilbezogene Daten									
Zeitspanne der letzten Renovierung	2 Jahre	95	6,18	2,20	6,10	7,70	9,18	55,8	0,000
	3 Jahre	45	5,18	2,21	5,00	6,00	8,40	35,6	
	4 - 7 Jahre	98	6,22	2,40	6,00	6,00	10,00	58,2	
	> 20 Jahre	100	3,57	1,10	3,30	3,90	4,29	3,0	
Reinigungsintervall	Jeden Tag	303	4,88	2,12	4,00	6,00	8,00	29,4	0,006
	Aller 2 Tage	298	5,25	2,10	4,80	6,40	8,40	33,2	
Anlagenbezogene Daten									
Lüftungsprinzip	Fenster	287	6,05	2,23	6,00	7,10	9,00	51,2	0,000
	Mischlüftung	196	3,76	1,12	3,50	4,00	5,00	6,1	
	Verdrängung	41	4,77	1,70	4,40	5,35	6,86	17,1	
	Quelllüftung	77	4,86	1,95	4,00	6,00	8,00	28,6	
Luftführung im Raum ¹⁾	Decke-Decke	85	3,93	1,08	3,80	4,35	5,42	8,2	0,000
	Boden-Decke	65	4,21	1,56	3,90	4,80	6,34	10,8	
	Induktion	87	3,73	1,25	3,40	4,00	5,00	5,7	
	Quellluft	77	4,86	1,95	4,00	6,00	8,00	28,6	
Art der Luftverteilung	Fenster	288	6,04	2,23	6,00	7,10	9,00	51,0	0,000
	1-Kanal Anlage	140	4,31	1,43	4,00	5,00	6,40	14,3	
	2-Kanal Anlage	41	3,47	0,62	3,40	3,90	4,20	0,0	
	Induktionsanlagen	132	4,23	1,77	3,90	5,00	6,70	15,9	
Klimaanlage	Nein	287	6,05	2,23	6,00	7,10	9,00	51,2	0,000
	Ja	314	4,16	1,53	3,90	4,90	6,00	13,1	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 20

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Perc	90 Perc	% > 75 Perc	C_DPOLp
Klimaanlagenart	Keine Klimaanlage	287	6,05	2,23	6,00	7,10	9,00	51,2	0,000
	Teilklimaanlage	80	4,15	1,48	4,00	4,98	5,99	10,0	
	Vollklimaanlage	233	4,17	1,55	3,90	4,85	6,28	14,2	
Beurteilung	Gut	103	4,64	1,75	4,00	5,30	7,00	20,4	0,000
Wartung	Schlecht	211	3,93	1,36	3,60	4,30	5,54	9,5	
Wartungszustand der Anlage	Gut	95	4,17	1,27	4,00	5,00	6,12	11,6	0,329
	Schlecht	219	4,16	1,64	3,90	4,80	6,00	13,7	
Datum des letzten Filteraustausches	0 Jahre	101	4,78	1,79	4,40	5,80	7,00	23,8	0,000
	1 Jahr	97	4,08	1,15	4,00	4,75	6,00	10,3	
	Über 2 Jahre	115	3,66	1,36	3,40	4,00	5,00	5,2	
Wartungszustand	Gut / befriedigend	129	4,58	1,75	4,00	5,10	7,00	21,7	0,000
Filter	Ausreichend	158	3,86	1,20	3,60	4,30	5,12	7,6	
	Mangelhaft/ ungenügend	27	3,94	1,76	3,60	4,00	4,96	3,7	
Wartungszustand Befeuchter	Sehr gut	39	4,52	1,22	4,30	5,20	6,40	12,8	0,017
	Gut / befriedigend	4	4,75	1,50	4,00	6,25	7,00	25,0	
	Ausreichend	91	4,40	2,00	3,70	5,00	7,88	20,9	
	Mangelhaft	110	3,87	1,03	3,65	4,33	5,10	6,4	
Wartungszustand Rotations-wärmetauscher	Gut / befriedigend	218	4,00	1,17	3,90	4,63	5,72	9,2	0,081
	Ausreichend	42	3,84	1,49	3,50	3,93	5,45	7,1	
Messpunktbezogene Daten									
TVOC-Konzentrationen	Niedrig	411	4,99	2,09	4,40	6,00	8,00	30,7	0,012
	Hoch	135	5,54	2,30	5,00	7,10	8,98	40,0	
CO ₂ -Konzentration	Niedrig	445	4,76	2,02	4,00	5,75	7,64	24,0	0,000
	Hoch	150	5,97	2,16	6,00	7,03	8,58	52,7	
Partikel Konzentration>2,0 µm	Niedrig	446	4,79	1,99	4,10	6,00	7,76	26,0	0,000
	Hoch	150	5,89	2,29	5,60	7,10	9,00	46,7	
Konzentration Bakterien Raumluft	Niedrig	430	4,97	2,10	4,40	6,00	8,00	29,1	0,007
	Hoch	160	5,38	2,15	5,00	,68	8,36	38,1	
Konzentration Pilze Raumluft	Niedrig	436	5,04	2,11	4,60	6,00	8,00	31,0	0,627
	Hoch	159	5,14	2,16	4,40	6,10	8,40	32,1	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 20

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Pe rc	90 Perc	% >75 Perc	C_DPO L p
Raumbezogene Daten									
Luftwechsel	< 1 Luftwechsel /h	136	6,36	2,26	6,00	7,70	9,10	55,1	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	74	4,43	1,43	4,00	5,00	6,25	16,2	
	< 3 Luftwechsel /h	44	4,54	1,96	3,90	4,90	7,15	20,5	
	3 - 11 Luftwechsel /h	13	3,61	0,46	3,50	3,95	4,28	0,0	
Mittlerer	< 1 Luftwechsel /h	14	4,68	1,56	4,55	5,45	7,50	14,3	0,173
Luftwechsel ¹⁾	< 2 Luftwechsel /h	68	4,32	1,32	4,00	5,00	6,01	13,2	
	< 3 Luftwechsel /h	44	4,54	1,96	3,90	4,90	7,15	20,5	
	3 - 11 Luftwechsel /h	13	3,61	0,46	3,50	3,95	4,28	0,0	
Bürotyp	Großraumbüro	141	3,98	1,24	3,80	4,55	5,56	7,1	0,000
	2 - 4-Mann-Büro	393	5,45	2,20	5,00	7,00	8,40	40,5	
	Einzelplatzbüro	53	5,00	2,22	4,40	6,00	7,36	26,4	
Personen und Arbeitsplatzbezogene Daten									
Bildschirmarbeitszeit	0 - 2 h	188	5,26	2,37	4,60	7,00	8,40	37,8	0,960
	2 - 4 h	135	5,00	2,00	4,60	6,00	7,24	28,9	
	4 - 6 h	250	5,07	2,03	4,60	6,00	8,00	30,0	
Raumvolumen pro Person	Klein	46	4,90	2,09	4,00	6,18	0,00	28,3	0,079
	Mittel	491	5,14	2,11	4,80	6,00	8,00	33,0	
	Hoch	57	4,64	2,24	4,00	5,00	7,28	21,1	
In näherer Umgebung geraucht	Potentiell geraucht	259	5,35	2,25	4,80	7,00	8,40	35,5	0,008
	Nicht geraucht	335	4,83	1,97	4,30	6,00	7,90	27,8	
Vliesfaktor	Klein	343	5,41	2,21	5,00	6,70	8,40	37,6	0,000
	Groß	251	4,60	1,89	4,00	5,10	7,00	23,1	
Luftfeuchte	Niedrig	433	5,38	2,22	5,00	6,85	8,40	37,9	0,000
	Hoch	148	4,16	1,39	3,90	4,80	6,00	12,8	
Lufttemperatur	Niedrig	448	5,27	2,22	5,00	6,55	8,31	35,7	0,000
	Hoch	141	4,40	1,58	4,00	5,00	6,48	17,0	

p für dichotome Variablen durch U-Test nach Mann und Whitney
p für kategoriale Variablen durch H- Test nach Kruskal und Wallis

1) = Die deskriptive Darstellung der anlagenbezogenen Variablen „Luftführung im Raum“ erfolgt ausschließlich für klimatisierte Büros. Dazu wird ein auf klimatisierte Messplätze reduzierter Datensatz erstellt.

Anhang

Tabelle 21: Deskriptive Darstellung der Variablen TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] nach gebäude-, anlagen-, meßpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Perc	90 Perc	% > 75 Perc	TVOC_{3 p}
Summenwert flüchtiger Organika	Insgesamt	557	380	366,7	285	435	709	24,9	
Gebäudebezogene Daten									
Jahreszeit	Kalte Jahreszeit	175	428	441,8	226	622	945	34,3	0,277
	Warme Jahreszeit	382	358	324,9	296	387	619	20,7	
Untersuchungsdatum	Frühling	261	362	345,0	294	381	602	21,5	0,000
	Sommer	86	246	89,3	211	325	387	2,3	
	Herbst	112	362	300,1	287	485	713	27,7	
	Winter	98	563	539,2	456	768	1152	51,0	
Gebäudeteilbezogene Daten									
Reinigungsintervall	Jeden Tag	254	314	226,9	231	362	596	18,5	0,000
	Aller 2 Tage	303	434	444,8	310	506	837	30,4	
Baujahr Gebäude/Gebäudeteile	Alte Gebäude	305	409	407,7	294	554	822	30,2	0,708
	Neue Gebäude	252	344	307,0	274	377	556	18,7	
Zeitspanne der letzten Renovierung	2 Jahre	97	683	536,9	487	819	1211	55,7	0,000
	3 Jahre	48	188	38,8	185	204	221	0,0	
	4 - 7 Jahre	99	247	178,5	191	284	477	11,1	
	> 20 Jahre	99	380	310,9	320	576	715	36,4	
Lage des Gebäudes	Großstadt-Zentrum	254	428	397,7	310	569	899	31,5	0,023
	Großstadt - Vorstadt / Land	120	288	153,7	232	357	549	15,0	
	Kleinstadt	183	373	408,4	285	401	691	22,4	
Anlagenbezogene Daten									
Lüftungsprinzip	Fenster	291	455	452,2	311	559	921	34,4	0,000
	Mischlüftung	144	352	266,9	311	483	661	26,4	
	Verdrängung	42	202	80,4	200	231	289	2,4	
	Quelllüftung	80	248	81,7	208	334	363	0,0	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 21

Einflussgröße	Ausprägung	n	M W	STD	M	75.Perc	90 Perc	% > 7 5 Perc	TVOC 3 p
Luftführung im Raum ¹⁾	Decke-Decke	37	159	151,2	101	181	363	8,1	0,000
	Boden-Decke	66	276	185,9	208	307	584	15,2	
	Induktion	83	422	274,1	350	536	692	31,3	
	Quellluft	80	248	81,7	208	334	363	0,0	
Art der Luftverteilung	Fenster	292	455	451,5	312	558	919	34,2	0,000
	1-Kanal Anlage	93	260	113,4	246	340	368	4,3	
	2-Kanal Anlage	41	254	249,9	145	367	623	22,0	
	Induktionsanlagen	131	336	246,5	237	386	629	19,8	
Klimaanlagenart	Keine Klimaanlage	291	455	452,2	311	559	921	34,4	0,000
	Teilklimaanlage	82	253	100,6	232	335	388	3,7	
	Vollklimaanlage	183	317	245,1	229	369	635	19,7	
Klimaanlage	Nein	291	455	452,2	311	559	921	34,4	0,000
	Ja	266	297	212,7	232	356	571	14,7	
Beurteilung	Gut	107	175	73,8	183	207	246	0,9	0,000
Wartung	Schlecht	159	379	235,1	338	406	645	23,9	
Wartungszustand der Klimaanlage	Gut	96	281	132,9	251	349	512	11,5	0,508
	Schlecht	170	306	246,5	223	360	626	16,5	
Messpunktbezogene Daten									
Ozonkonzentration	Niedrig	350	393	407,8	280	466	731	27,1	0,681
	Hoch	104	353	251,1	251	459	768	26,0	
Raumbezogene Daten									
Bürotyp	Großraumbüro	138	298	168,3	260	356	576	15,2	0,000
	2 - 4-Mann-Büro	367	432	426,1	305	515	832	30,5	
	Einzelraumbüro	37	228	186,2	183	300	522	13,5	
Mittlerer Luftwechsel	< 1 Luftwechsel /h	135	469	421,6	333	598	965	37,8	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	65	257	165,1	227	336	377	4,6	
	< 3 Luftwechsel /h	32	418	259,6	345	590	831	43,8	
	3 - 11 Luftwechsel /h	12	354	560,0	165	445	1598	25,0	
Mittlerer Luftwechsel ¹⁾	< 1 Luftwechsel /h	14	327	173,8	273	408	661	21,4	0,012
	< 2 Luftwechsel /h	59	253	168,2	227	334	370	3,4	
	< 3 Luftwechsel /h	32	418	259,6	345	590	831	43,8	
	3 - 11 Luftwechsel /h	11	370	584,2	162	536	1750	27,3	
Bildschirmarbeitszeit	0 - 2 h	171	456	477,4	297	597	901	35,7	0,373
	2 - 4 h	129	347	265,1	271	425	634	24,0	
	4 - 6 h	241	350	325,4	285	373	682	19,5	

Fortsetzung Tabelle 21

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Per c	90 Perc	% > 75 Perc	TVO C ₃ p
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	227	392	429,2	286	406	799	24,7	0,605
	Nicht geraucht	324	371	316,6	283	454	681	25,3	
Material Möbel	Holz und Metall	28	114	64,8	95	155	187	0,0	0,000
	furnierte Spanplatte	523	396	372,4	295	461	740	26,6	
Vliesfaktor	Niedrig	260	402	404,1	223	550	901	30,0	0,023
	Hoch	291	363	332,8	309	394	592	21,0	
Luftfeuchte	Niedrig	398	407	378,2	298	497	769	29,1	0,000
	Hoch	138	303	260,5	220	350	603	15,2	
Lufttemperatur	Niedrig	403	403	386,7	297	462	775	27,3	0,003
	Hoch	141	307	214,2	222	368	632	19,1	

p für dichotome Variablen durch U-Test nach Mann und Whitney

p für kategoriale Variablen durch H- Test nach Kruskal und Wallis

1) = Die deskriptive Darstellung der anlagenbezogenen Variablen „Luftführung im Raum“ erfolgt ausschließlich für klimatisierte Büros. Dazu wird ein auf klimatisierte Messplätze reduzierter Datensatz erstellt.

Tabelle 22: Deskriptive Darstellung der Variable Partikel > 0,5 µm (C_PAR005 [1/l]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Per c	90. Perc	% > 75 Perc	PAR005 p
Partikel > 0,5 µm	Insgesamt	612	1984	2041,7	1576	2433	3586	24,8	
Gebäudebezogene Daten									
Jahreszeit	Kalte Jahreszeit	179	2507	2557,4	1962	2581	4416	31,3	0,000
	Warme Jahreszeit	433	1768	1743,8	1328	2305	3346	22,4	
Außenpartikelzahl > 0,5µm	Niedrig	455	1935	2141,7	1477	2270	3406	21,3	0,003
	Hoch	157	2126	1717,6	1872	2829	3673	35,7	
Untersuchungsdatum	Frühling	313	1570	1906,4	1092	1753	2790	14,1	0,000
	Sommer	83	1844	1906,4	1275	2316	3049	18,1	
	Herbst	113	2431	1348,0	2463	3239	3749	50,4	
	Winter	103	2865	2718,2	2219	2755	4992	35,9	
Gebäudeteilbezogene Daten									
Reinigungsintervall	Jeden Tag	316	1963	2057,0	1473	2635	3635	28,5	0,137
	Aller 2 Tage	296	2006	2028,5	1594	2267	3410	21,3	
Lage des Gebäudes	Großstadt - Zentrum	257	2527	2378,0	2078	2804	4587	33,5	0,000
	Großstadt - Vorstadt / Land	176	917	1060,3	710	1076	1627	2,8	
	Kleinstadt	179	2253	1856,6	1756	2743	3662	34,6	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 22

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Perc	90.Perc	% > 75 Perc	PAR005 p
Anlagenbezogene Daten									
Lüftungsprinzip	Fenster	292	2708	2327,8	2127	2936	4084	39,7	0,000
	Mischlüftung	202	1248	1296,5	774	1510	2801	11,4	
	Verdrängung	41	803	441,0	846	1095	1314	0,0	
	Quelllüftung	77	1799	1994,8	1174	2331	3207	18,2	
Luftführung im Raum ¹⁾	Decke-Decke	86	1129	1520,4	711	1105	2012	7,0	0,000
	Boden-Decke	65	845	604,4	663	1095	1609	3,1	
	Induktion	92	1445	1141,4	1088	1745	3223	16,3	
	Quellluft	77	1799	1994,8	1174	2331	3207	18,2	
Art der Luftverteilung	Fenster	293	2700	2327,1	2119	2933	4082	39,6	0,000
	1-Kanal Anlage	141	1006	1159,6	800	1114	1585	3,5	
	2-Kanal Anlage	41	911	962,4	596	756	2158	7,3	
	Induktionsanlagen	137	1779	1719,8	1275	2346	3469	21,2	
Baujahr der Anlage	1970 - 1979	119	1570	1569,5	1007	1989	3436	18,5	0,023
	1980 - 1989	81	955	468,9	876	1174	1660	1,2	
	1990 - 1996	120	1327	1718,0	748	1645	2739	11,7	
Klimaanlagenart	Keine Klimaanlage	292	2708	2327,8	2127	2936	4084	39,7	0,000
	Teilklimaanlage	81	1014	539,9	918	1197	1686	2,5	
	Vollklimaanlage	238	1432	1647,6	813	1787	2940	14,7	
Klimaanlage	Nein	292	2708	2327,8	2127	2936	4084	39,7	0,000
	Ja	320	1323	1457,6	855	1575	2781	11,6	
Beurteilung	Gut	103	1573	1838	1036	2154	2896	14,6	0,097
Wartung	Schlecht	217	1205	1224	814	1299	2628	10,1	
Wartungszustand der Anlage	Gut	95	815	463	779	1084	1271	1,1	0,000
	Schlecht	225	1538	1667	945	2054	2948	16,0	
Raumbezogene Daten									
Luftwechsel	< 1 Luftwechsel /h	136	2148	1080,3	1930	2639	3224	31,6	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	79	1686	2191,6	927	2154	3130	17,7	
	< 3 Luftwechsel /h	44	1438	1388,5	1054	1654	2873	11,4	
	3 - 11 Luftwechsel /h	14	1093	1261,6	472	1898	3512	21,4	
Mittlerer Luftwechsel ¹⁾	< 1 Luftwechsel /h	14	1182	703,4	1147	1404	2563	7,1	0,069
	< 2 Luftwechsel /h	73	1399	1840,9	872	1427	2771	12,3	
	< 3 Luftwechsel /h	44	1438	1388,5	1054	1654	2873	11,4	
	3 - 11 Luftwechsel /h	13	951	1191,0	457	1129	3525	15,4	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 22

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Per c	90. Perc	% > 75 Perc	PAR 005 p
Bürotyp	Großraumbüro	145	1241	1305,2	794	1334	2834	13,8	0,000
	2 - 4-Mann-Büro	397	2216	2166,4	1752	2571	3673	28,5	
	Einzelraumbüro	56	2094	2360,0	1300	2346	5334	23,2	
Personen und Arbeitsplatzbezogene Daten									
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	263	2469	2798,6	1672	2805	5151	30,8	0,006
	Nicht geraucht	342	1630	1058,1	1445	2286	2985	21,1	
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	192	2125	2176,2	1784	2507	3310	27,6	0,203
	2 - 4 h	137	2032	2030,0	1508	2410	3717	24,1	
	4 - 6 h	252	1936	2021,1	1364	2402	3598	24,6	
Grünpflanzen	Pflanzen	93	1324	1178,1	872	1724	2628	10,8	0,000
	Keine Pflanzen	519	2102	2139,7	1657	2519	3608	27,6	
Vliesfaktor	Klein	267	2302	2377,0	1876	2474	4079	26,6	0,000
	Groß	251	1741	1707,8	1242	2288	3274	23,7	
Regalfaktor	Klein	444	1784	1766,7	1312	2291	3360	22,3	0,000
	Groß	161	2552	2598,7	1962	2644	4954	32,3	
Luftfeuchte	Niedrig	440	2156	2134,6	1714	2507	3664	27,5	0,000
	Hoch	153	1552	1705,1	935	2166	3346	18,3	
p für dichotome Variablen durch U-Test nach Mann und Whitney p für kategoriale Variablen durch H- Test nach Kruskal und Wallis									

1) = Die deskriptive Darstellung der anlagenbezogenen Variablen „Luftführung im Raum“ erfolgt ausschließlich für klimatisierte Büros. Dazu wird ein auf klimatisierte Messplätze reduzierter Datensatz erstellt.

Tabelle 23: Deskriptive Darstellung der Variable Partikel > 2,0 µm (C_PAR020 [1/l]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Per c	90. Perc	% > 75 Perc	PAR020 p
Partikel > 2,0 µm	Insgesamt	612	247	151,8	222	315	431	24,8	
Gebäudebezogene Daten									
Jahreszeit	Kalte Jahreszeit	179	304	174,3	267	363	521	38,5	0,000
	Warme Jahreszeit	433	224	134,8	206	287	399	19,4	
Außenpartikelzahl > 2,0µm	Niedrig	441	225	135,6	204	284	398	20,6	0,000
	Hoch	171	304	175,2	280	372	484	36,3	
Untersuchungsdatum	Frühling	313	249	143,2	227	325	435	26,5	0,000
	Sommer	83	193	101,3	172	261	326	10,8	
	Herbst	113	209	127,1	201	296	391	17,7	
	Winter	103	325	197,9	267	390	631	39,8	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 23

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Per c	90. Perc	% > 75 Perc	PAR020 p
Gebäudeteilbezogene Daten									
Reinigungsintervall	Jeden Tag	316	196	102,9	186	256	333	11,4	0,000
	Aller 2 Tage	296	302	174,7	275	382	483	39,5	
Lage des Gebäudes	Großstadt - Zentrum	257	263	165,8	224	332	464	28,4	0,000
	Großstadt - Vorstadt/ Land	176	160	79,01	143	212	268	5,1	
	Kleinstadt	179	309	146,9	286	390	457	39,7	
Anlagenbezogene Daten									
Lüftungsprinzip	Fenster	292	335	157,9	303	401	484	45,5	0,000
	Mischlüftung	202	140	69,7	129	173	232	2,0	
	Verdrängung	41	197	106,7	179	261	335	14,6	
	Quelllüftung	77	221	94,2	212	270	329	13,0	
Luftführung im Raum ¹⁾	Decke-Decke	86	141	74,1	129	166	245	2,3	0,000
	Boden-Decke	65	174	94,8	146	229	319	9,2	
	Induktion	92	140	70,0	131	186	230	2,2	
	Quellluft	77	221	94,2	212	270	329	13,0	
Art der Luftverteilung	Fenster	293	334	158,1	300	401	484	45,4	0,000
	1-Kanal Anlage	141	178	82,9	163	234	283	6,4	
	2-Kanal Anlage	41	128	77,1	118	156	218	2,4	
	Induktionsanlagen	137	168	95,0	145	219	219	7,3	
Baujahr der Anlage	1970 - 1979	119	126	68,6	114	151	213	1,7	0,000
	1980 - 1989	81	181	91,5	154	248	312	8,6	
	1990 - 1996	120	198	89,3	187	245	310	9,2	
Klimaanlagenart	Keine Klimaanlage	292	335	157,9	303	401	484	45,5	0,000
	Teilklimaanlage	81	185	90,4	163	248	312	8,6	
	Vollklimaanlage	238	161	87,6	145	211	274	5,5	
Klimaanlage	Nein	292	335	157,9	303	401	484	45,5	0,000
	Ja	320	167	88,7	148	222	283	6,3	
Beurteilung	Gut	103	197	113	171	264	333	14,6	0,003
Wartung	Schlecht	217	153	71	143	204	255	2,3	
Wartungszustand	Gut	95	203	81	208	254	317	9,5	0,000
Anlageergebnis	Schlecht	225	152	87	136	191	268	4,9	

Fortsetzung Tabelle 23

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Per c	90. Perc	% > 75 Perc	PAR020 p
Raumbezogene Daten									
Luftwechsel	< 1 Luftwechsel /h	136	345	169,0	316	424	551	51,5	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	79	179	89,2	167	253	291	5,1	
	< 3 Luftwechsel /h	44	141	79,8	137	159	226	2,3	
	3 - 11 Luftwechsel /h	14	90	48,2	67	118	180	0,0	
Mittlerer Luftwechsel ¹⁾	< 1 Luftwechsel /h	14	206	84,2	173	279	340	21,4	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	73	170	85,6	164	226	269	2,7	
	< 3 Luftwechsel /h	44	141	79,8	137	159	226	2,3	
	3 - 11 Luftwechsel /h	13	81	34,4	66	107	141	0,0	
Bürotyp	Großraumbüro	145	194	98,3	187	253	326	11,7	0,000
	2 - 4-Mann-Büro	397	272	164,1	247	349	457	30,2	
	Einzelraumbüro	56	214	148,8	171	326	419	26,8	
Personen- bzw. Arbeitsplatzbezogene Daten									
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	192	239	170,7	196	311	455	24,5	0,030
	2 - 4 h	137	255	135,6	234	323	422	27,7	
	4 - 6 h	253	254	147,7	227	314	423	24,9	
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	263	248	164,2	223	328	438	26,2	0,641
	Nicht geraucht	342	247	141,6	221	307	428	24,0	
Pflanzen am Arbeitsplatz	Pflanzen	93	224	169,0	208	263	361	15,1	0,031
	Keine Pflanzen	519	251	148,3	224	326	436	26,8	
Vliesfaktor	Klein	267	273	171,0	239	347	480	32,2	0,002
	Groß	338	228	131,9	212	289	398	19,2	
Regalfaktor	Klein	444	237	151,9	214	297	410	21,8	0,000
	Groß	161	277	148,4	254	348	457	33,5	
Luftfeuchte	Niedrig	440	281	154,9	254	351	456	31,8	0,000
	Hoch	153	158	98,8	136	208	289	7,2	
p für dichotome Variablen durch U-Test nach Mann und Whitney p für kategoriale Variablen durch H- Test nach Kruskal und Wallis									

1) = Die deskriptive Darstellung der anlagenbezogenen Variablen „Luftführung im Raum“ erfolgt ausschließlich für klimatisierte Büros. Dazu wird ein auf klimatisierte Messplätze reduzierter Datensatz erstellt.

Tabelle 24: Deskriptive Darstellung der Variable Partikel >10,0 µm (C_PAR100 [1/l]) nach gebäude-, anlagen-, messpunkt-, raum- sowie personenspezifischen Merkmalen

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Per c	90. Perc	% > 75 Perc	PAR100 p
Partikel > 10,0 µm	Insgesamt	612	4	4,6	3	5	9	20,9	
Gebäudebezogene Daten									

Anhang

Fortsetzung Tabelle 24

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	STD	M	75.Perc	90. Perc	% > 75 Perc	PAR100 p
Jahreszeit	Kalte Jahreszeit	179	3	2,0	2	3	5	10,6	0,001
	Warme Jahreszeit	433	5	5,2	3	6	11	34,6	
Außenpartikel > 10 µm	Niedrig	158	3	2,2	2	3	6	15,2	0,000
	Hoch	454	5	5,0	3	5	11	31,9	
Untersuchungsdatum	Frühling	313	5	5,9	3	6	14	32,9	0,000
	Sommer	83	4	2,5	4	6	8	37,3	
	Herbst	113	3	2,4	2	4	6	17,7	
	Winter	103	3	1,7	3	4	5	14,6	
Gebäudeteilbezogene Daten									
Reinigungsintervall	Jeden Tag	316	3	2,3	2	4	6	18,7	0,000
	Aller 2 Tage	296	6	5,8	3	7	14	37,2	
Lage des Gebäudes	Großstadt - Zentrum	257	3	2,5	3	4	6	20,6	0,000
	Großstadt - Vorstadt/Land	176	2	2,1	2	3	5	14,2	
	Kleinstadt	179	7	6,7	5	10	18	50,8	
Anlagenbezogene Daten									
Lüftungsprinzip	Fenster	292	6	5,7	3	6	14	37,3	0,000
	Mischlüftung	202	2	2,1	2	3	5	12,9	
	Verdrängung	41	2	0,9	2	2	3	0,0	
	Quelllüftung	77	5	2,7	4	6	9	44,2	
Luftführung im Raum ¹⁾	Decke-Decke	86	2	1,2	1	2	3	2,3	0,000
	Boden-Decke	65	2	1,1	2	2	3	1,5	
	Induktion	92	3	2,6	2	5	7	25,0	
	Quellluft	77	5	2,7	4	6	9	44,2	
Art der Luftverteilung	Fenster	293	6	5,7	3	6	14	37,2	0,000
	1-Kanal Anlage	141	3	2,4	2	3	6	20,6	
	2-Kanal Anlage	41	2	1,5	1	2	3	2,4	
	Induktionsanlagen	137	3	2,5	2	4	7	21,9	
Baujahr der Anlage	1970 - 1979	119	1	1,2	1	2	3	0,8	0,000
	1980 - 1989	81	3	2,5	3	5	7	21,0	
	1990 - 1996	120	4	2,6	3	5	8	22,5	
Klimaanlagenart	keine Klimaanlage	292	6	5,7	3	6	14	37,3	0,000
	Teilklimaanlage	81	4	2,5	3	5	7	29,6	
	Vollklimaanlage	238	3	2,3	2	3	6	15,1	
Klimaanlage	Nein	292	6	5,7	3	6	14	37,3	0,000
	Ja	320	3	2,4	2	4	6	18,8	

Anhang

Fortsetzung Tabelle 24

Einflussgröße	Ausprägung	n	MW	ST D	M	75. Perc	90. Perc	% > 75 Perc	PAR 100 p
Beurteilung	Gut	103	3	2	2	3	4	7,8	0,853
Wartung	Schlecht	217	3	3	2	4	7	24,0	
Wartungszustand	Gut	95	3	3	2	5	7	28,4	0,002
Anlageergebnis	Schlecht	225	3	2	2	3	6	14,7	
Raumbezogene Daten									
Luftwechsel	< 1 Luftwechsel /h	136	5	4,6	3	6	12	27,9	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	79	3	2,5	2	4	7	19,2	
	< 3 Luftwechsel /h	44	2	1,8	1	2	4	7,0	
	3 - 11 Luftwechsel /h	14	1	0,5	1	1	2	0,0	
Mittlerer Luftwechsel ¹⁾	< 1 Luftwechsel /h	14	4	2,0	4	6	7	35,7	0,000
	< 2 Luftwechsel /h	73	3	2,5	2	4	7	23,3	
	< 3 Luftwechsel /h	44	2	1,8	1	2	4	6,8	
	3 - 11 Luftwechsel /h	13	1	0,4	1	1	1	0,0	
Bürotyp	Großraumbüro	145	3	2,3	2	4	6	15,3	0,000
	2 - 4-Mann-Büro	397	5	5,2	3	5	12	24,6	
	Einzelraumbüro	56	3	4,0	2	4	7	11,9	
Personen bzw. Arbeitsplatzbezogene Daten									
Arbeitszeit am Bildschirm	0 - 2 h	192	4	4,7	2	4	8	16,1	0,000
	2 - 4 h	137	5	4,9	3	6	11	31,4	
	4 - 6 h	253	5	4,4	3	6	10	36,0	
In näherer Umgebung geraucht?	Potentiell geraucht	263	4	4,6	3	5	9	26,6	0,406
	Nicht geraucht	342	4	4,3	3	5	10	28,1	
Pflanzen	Vorhanden	93	3	3,1	2	5	7	26,9	0,301
	Nicht vorhanden	519	4	4,8	3	5	10	27,7	
Vliesfaktor	Klein	267	4	4,2	2	4	6	16,1	0,003
	Groß	338	5	4,8	3	6	10	37,0	
Regalfaktor	Klein	444	4	3,6	3	5	7	26,4	0,002
	Groß	161	6	6,3	3	7	17	31,7	
Luftfeuchte	Niedrig	440	5	5,0	3	6	11	34,1	0,000
	Hoch	153	2	2,2	2	3	5	11,1	

p für dichotome Variablen durch U-Test nach Mann und Whitney

p für kategoriale Variablen durch H- Test nach Kruskal und Wallis

1) = Die deskriptive Darstellung der anlagenbezogenen Variablen „Luftführung im Raum“ erfolgt ausschließlich für klimatisierte Büros. Dazu wird ein auf klimatisierte Messplätze reduzierter Datensatz erstellt.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name	Seidel
Vorname	Claudia
Geburtsdatum	03.12.1981
Geburtsort	Zwickau
Familienstand	verheiratet

Schulbildung

1988-1990	Grundschule Zwickau
1990-1992	Erweiterte Sprachschule Zwickau
Juli 2000	Schulabschluss mit dem Abitur/allgemeine Hochschulreife

Hochschulausbildung

Oktober 2000 - Dezember 2005	Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Schiller-Universität
Januar 2006	Hochschulabschluss, Approbation als Zahnarzt
April 2006 - April 2008	Berufliche Tätigkeit als Vorbereitungsassistent in Zwickau
Seit April 2008	Angestellter Zahnarzt

Zwickau, 23.03.2010

Unterschrift

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst abgefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Herr PD. Dr., Dr. W. Bischof, Frau Dr. S. Brasche, Herr Dr. V. Herzog, Frau Hemmelmann und Frau Brandstädt.

die Hilfe eines Promotionshelfers nicht in Anspruch genommen habe und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Zwickau, 23.03.2010

Unterschrift

Danksagung

Danksagung

Herrn PD Dr.Dr. Bischof danke ich für die Überlassung des Themas und die freundliche und hilfreiche Unterstützung bei der Bearbeitung und Verfassung der schriftlichen Arbeit.

Meiner Betreuerin Frau Dr. Brasche danke ich sowohl für die hilfreiche Unterstützung bei den statistischen Auswertungen als auch bei der Verfassung der schriftlichen Arbeit.

Herrn Dr. Herzog danke ich für die Unterstützung bei der literarischen Bearbeitung meiner chemischen Variablen.

Weiterhin bedanke ich mich beim Institut für Statistik für die Hilfe bei den statistischen Auswertungen.

Ein ganz lieber Dank gilt meinem Mann Dirk, meiner Familie und meinen drei Mädels, die mich immer wieder ermutigt und somit zur Fertigstellung meiner Promotion wesentlich beigetragen haben.